



Universidad de Cuenca

UNIVERSIDAD DE CUENCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

**“ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE DIAFRAGMAS DE
MADERA”**

TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN
DEL TÍTULO DE INGENIERO
CIVIL

AUTOR:

PABLO SEBASTIÁN PATIÑO ROCHA

TUTOR:

ING. ÁNGEL JULVER PINO VELÁSQUEZ

CUENCA – ECUADOR

NOVIEMBRE 2014



Universidad de Cuenca

RESUMEN

En el trabajo presentado a continuación, se hace una breve descripción de la madera y su empleo en el diseño de elementos estructurales. Se explica y se describe detalladamente el concepto de diafragma estructural y su funcionamiento, así como los tipos de entramados estructurales y sus diferentes modos de configuración. Se plantea el problema de comportamiento de un diafragma como rígido y se trata de llegar a un método general que demuestre con precisión dicha hipótesis. Al final, con un ejemplo, se analiza el comportamiento de los diafragmas de madera a partir del diseño de los mismos, utilizando la ecuación 23-1 del Código Internacional de la Edificación 2006, que determina la deflexión debido a cargas cortantes, los resultados que proporcione dicha ecuación, determinarán si los diafragmas son flexibles o rígidos.

Al final, se elabora un conjunto de hojas electrónicas EXCEL, que permitan determinar con facilidad y rapidez el diseño de los diafragmas y entramados y su respectivo análisis posterior, adjuntando planos del ejemplo realizado.

PALABRAS CLAVE

Diafragma, corte basal, panel, rigidez, deflexión, clavado, entramado, bloqueo, comportamiento.



Universidad de Cuenca

ABSTRACT

In the work presented below is a brief description of the wood and its use in the design of structural elements is done. It is explained and the concept of structural diaphragm and its operation, as well as the types of structural frameworks and different configuration modes is described in detail. The problem behavior of a diaphragm as rigid arises and is about to reach a general method to prove this hypothesis accurately. In the end, with an example, the behavior of wood diaphragms is analyzed from the same design, using Equation 23-1 International Building Code 2006, which determines the deflection due to shear loads, the results provide this equation, determine whether diaphragms are flexible or rigid.

Ultimately, a set of EXCEL spreadsheets that allow easily and quickly determine the design of the diaphragms and its respective frameworks and subsequent analysis, including plans made Example is prepared.

KEYWORDS

Diaphragm baseline survey, panel, stiffness, deflection, nailing, framing, blocking behavior.



ÍNDICE

RESUMEN	2
ABSTRACT	3
.....	8
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.....	11
1.1. ANTECEDENTES.....	11
1.2. MOTIVACIÓN	12
1.3. OBJETIVOS.....	12
1.3.1. Objetivo General	12
1.3.2. Objetivos específicos	12
1.4. METODOLOGÍA	13
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO.....	14
2.1. INTRODUCCIÓN	14
2.2. MADERA COMO ELEMENTO ESTRUCTURAL	14
2.2.1. Requisitos generales	15
2.2.2. Contenido de Humedad	16
2.2.3. Densidad y peso específico	17
2.2.4. Contracción e Hinchamiento	17
2.2.5. Dureza	18
2.2.6. Hendibilidad	18
2.2.7. Conductividad	18
2.3. DIAFRAGMAS	18
2.3.1. Definición	18
2.3.2. Generalidades.....	19
2.3.3. Clasificación de los diafragmas según su comportamiento	22
2.3.4. Rigidez de un diafragma.	24
2.3.5. Consideraciones para el diseño.....	25
2.3.6. Flexibilidad de los diafragmas en los códigos de construcción. ..	27
CAPITULO 3: DIAFRAGMAS DE MADERA.....	28
3.1. INTRODUCCIÓN	28
3.2. DIAFRAGMAS RÍGIDOS	28
3.2.1. Generalidades.....	28
3.2.2. Conexiones de elementos de madera	31
3.2.3. Detalles constructivos y recomendaciones para el diseño.....	35
3.3. RIGIDEZ DE LOS DIAFRAGMAS.....	41
3.3.1. Determinación de la rigidez.	42
3.4. COMPORTAMIENTO DE LOS DIAFRAGMAS FLEXIBLES.....	44
3.4.1. Hipótesis de comportamiento.....	45
CAPITULO 4: MÉTODO DE ANÁLISIS.....	48
4.1. INTRODUCCIÓN	48
4.2. Ecuación de la deflexión del Código Internacional de la Edificación 2006	48
4.3. Ejemplo de Diseño y Análisis.....	49



4.3.1.	Determinación de la carga de Cortante basal:	51
4.3.2.	Configuración estructural en los respectivos paneles	53
4.3.3.	Cálculo de Diafragmas.....	56
CAPITULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		79
CAPITULO 6: BIBLIOGRAFÍA.....		84

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1:	Madera de Construcción Estructural	15
Figura 2:	19
Figura 3:	Sistemas constructivos de entre pisos.	20
Figura 4:	Sistema estructural bajo la acción de acciones horizontales.	20
Figura 5:	Fuerzas de diseño en los diafragmas.....	21
Figura 6:	Comportamiento de los diafragmas.....	23
Figura 7:	Edificación con abertura en los diafragmas.....	26
Figura 8:	Esquema para la determinación de la flexibilidad del diafragma(ASCE, 2010).....	27
Figura 9:	Idealización de un entrepiso muy rígido.	29
Figura 10:	Desplazamientos verticales en columnas y diafragmas.	30
Figura 11:	Tipo de conexiones clavadas.	33
Figura 12:	Vigas que conforman el entramado de entrepiso	36
Figura 13:	Piezas de madera dispuestas en forma normal, de sección similar a las vigas.	37
Figura 14:	Crucetas distancia máxima recomendada 1,20 m.....	38
Figura 15:	Riostras en el perímetro de la plataforma	39
Figura 16:	Zuncho metálico.	39
Figura 17:	Plataforma de entrepiso con entablado machihembrado.	40
Figura 18:	Tableros estructurales.....	41
Figura 19:	Rigidez de un sistema linealmente elástico.....	42
Figura 20:	Teoría de deformación de un diafragma	43
Figura 21:	Deformación por corte.....	43
Figura 22.-	Esquema general de un sistema estructural pórticos-paneles.....	44
Figura 23.-	Esquema del modelo planteado para el análisis de los diafragmas.	45
Figura 24:	Modelo de la estructura del ejemplo.....	50
Figura 25:	Representación en planta del modelo.	51
Figura 26:	Configuración estructural panel n.- 01.....	53
Figura 27:	Configuración estructural de panel n.- 02.....	54
Figura 28:	Configuración estructural de panel n.- 02.....	54
Figura 29:	Configuración estructural de panel n.- 03.....	55
Figura 30:	Configuración estructural de panel n.- 04.....	55
Figura 31:	Configuración estructural de panel n.- 05.....	56



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Distancia entre vigas según espesores de tableros	41
Tabla 2: Distribución de paneles.	50
Tabla 3: Cálculo de sub-cortantes basales	53
Tabla 4: Máxima relación de dimensiones de diafragmas (Tabla 2305.2.3 CIE. 20	58
Tabla 5: Corte admisible para diafragmas estructurales de madera (Tabla 2306 3-1 CIE. 2006).	59
Tabla 6: Corte admisible para diafragmas estructurales de madera, continuación (Tabla 2306 3-1 CIE. 2006).	60
Tabla 7: Corte admisible para diafragmas estructurales de madera, continuación (Tabla 2306 3-1 CIE. 2006).	61
Tabla 8: Tabla de cálculo de diafragmas.....	66
Tabla 9: Dimensiones de los entramados de panel.....	69
Tabla 10: Valores para el calculo de la deflexión del diagrama debido al deslizamiento de anclaje (Tabla 2305.2.2 (1) CIE. 2006).	71
Tabla 11: Valores de G_t (Tabla 2305.2.2 (2) CIE. 2006)	72
Tabla 12: Resultados de la deflexión de los paneles y comprobación de su rigidez.....	75
Tabla 13: Diseño en la hoja de cálculo.....	78



Universidad de Cuenca



Universidad de Cuenca

Yo, **Pablo Sebastián Patiño Rocha**, reconozco y acepto el derecho de la universidad de Cuenca, en base al Art.5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de Ingeniero Civil. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicara afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor.


Pablo Sebastián Patiño Rocha.
0502659907



Universidad de Cuenca



Universidad de Cuenca

Yo, **Pablo Sebastián Patiño Rocha**, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son exclusiva responsabilidad de su autor/a.



Pablo Sebastián Patiño Rocha.
0502659907



Universidad de Cuenca

DEDICATORIA

A mis padres María
Elena y César, por su
apoyo, sus consejos, su
paciencia y por haber
estado presentes de
manera incondicional
durante esta etapa de
mi vida "Les amo".

A mi esposa Vanessa
por el apoyo y amor
inmenso durante todo
este tiempo.

A mi hijo Pedro
Sebastián, que le sirva
como ejemplo en la
búsqueda de la
superación intelectual.



Universidad de Cuenca

AGRADECIMIENTOS

Quiero iniciar agradeciendo a mi Tutor, el Ingeniero Ángel Julver Pino, quien estuvo dispuesto a ayudarme durante todo el desarrollo de esta tesis.

A mis hermanos César y María Gabriela, su tenacidad y lucha insaciable han hecho de ellos un gran ejemplo a seguir y destacar, sigan adelante en su superación personal y académica.

Por otro lado, agradezco a mi mujer Vanessa, y a mi hijo Pedro Sebastián por haber comprendido la necesidad de cumplir con esta responsabilidad, y apoyarme constantemente para culminar mis estudios de pregrado.

Finalmente agradezco a mis Padres, ya que ellos han sido mi principal apoyo durante todo mi proceso de formación. La constancia, la dedicación, la responsabilidad y la búsqueda de la mejora continua, han sido atributos que sembraron en mí desde pequeño.



CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES

La madera fue uno de los primeros materiales utilizados por el hombre para construcción, está definida como un material orgánico, natural y con estructura celular; durante miles de años el hombre la ha manipulado para que sirviera a sus necesidades, a partir del siglo XIV d.c; donde se descubren nuevas técnicas y materiales para la construcción, tales como el hormigón armado, el hierro, el cristal y otros sustitutos de la madera, disminuyó en gran medida el uso de esta; en la actualidad forma parte total o parcial en la construcción de cubiertas y losas de entrepiso ya sea por una cuestión estructural, costos o apariencia .

Los techos y entre pisos de madera están conformados por vigas, viguetas y piso propiamente dicho (Plywood o tablas), se los puede dividir en dos partes una inferior que es la que da resistencia y la superior que da un efecto visual de un buen acabado, a todo este conjunto de elementos estructurales se le puede estudiar como un solo diafragma horizontal. Para el diseño de la parte inferior (resistencia) se necesita tener un amplio conocimiento de los diferentes aspectos tecnológicos, comportamiento mecánico y estructural, criterios de usos, protección, posibilidad de transformación y prefabricación. **(Manual de diseño para el grupo andino, 1984)**

Cuando se realiza el diseño estructural de una edificación se debe considerar que los diafragmas no tienen un comportamiento regular ante la acción de cargas laterales, pero se conoce también que un diafragma se comporta como “rígido” cuando él entre piso se desplaza como un todo, lo que permitirá a los elementos soportantes recibir una gran parte de las cargas laterales. Todo lo contrario sucede cuando un diafragma se comporta como “flexible” en este caso los elementos verticales recibirán cargas laterales distintas a las anteriores.

La flexibilidad de la madera lleva a pensar que los diafragmas contruidos de este material se les debe considerar como flexibles; hay que tener muy claro que el tipo de diafragma no depende de las características del material, sino de la estructuración de los sistemas horizontales de entre pisos. En la construcción en madera el plywood o tablas son clavadas directamente a los miembros de la estructura, por lo cual la resistencia y la rigidez depende de la separación entre clavos y si el diafragma esta fijo o no.



Varios estudios indican que dejar de lado el real comportamiento de los diafragmas de piso y techo puede, en algunos casos, dejar serios errores en la evaluación de la capacidad resistente requerida ante cargas laterales de los elementos verticales como son: marcos y paredes. **(Naeim, 2001)**

1.2. MOTIVACIÓN

A pesar que la madera posee diversas características que no han podido ser sustituidas. Tales como su ligereza, la belleza de su acabado natural, la facilidad de transporte y su ductilidad para ser trabajada con equipos y herramientas muy sencillas. Además, es adaptable al diseño y posee magnífica resistencia mecánica en el sentido de sus fibras.

La actual falta de un método preciso para determinar la rigidez de un diafragma de madera impide que los diseñadores sepan exactamente cuál es la rigidez del mismo. Se requiere de una rigidez adecuada del diafragma a fin de garantizar el intercambio de carga entre los muros de corte de soporte y el diafragma horizontal.

En la actualidad en la construcción se sigue utilizando soluciones estructurales como el acero y el hormigón dejando a un lado sistemas estructurales como la madera, un tema poco y casi nada tratado en la NEC son los diafragmas de madera y que para el cálculo estructural es fundamental saber cuál es su comportamiento.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo General

Determinar el comportamiento de techos y entre pisos de madera sometidos a fuerzas laterales producto de eventos naturales y comprobar si son capaces de transferir dichas cargas horizontales a los elementos estructurales verticales.

1.3.2. Objetivos específicos

Para llegar a cumplir con el objetivo general se tendrán en cuenta estos objetivos específicos:



Universidad de Cuenca

- Realizar un estudio bibliográfico y de normativas de la madera como elemento estructural de diafragmas.
- Realizar un análisis que indique la influencia de la rigidez del panel, frente a la distribución del cortante de piso.
- Desarrollar una hoja de Excel que permita estudiar el comportamiento de los sistemas estructurales horizontales de madera.

1.4. METODOLOGÍA

El siguiente trabajo de tesis está estructurado mediante cinco capítulos, los cuales son:

- Introducción
- Marco teórico
- Diafragmas Rígidos
- Método de Análisis
- Conclusiones y recomendaciones.

El segundo capítulo expone a detalle la base teórica referente a los diafragmas. Aquí también se presenta la clasificación de los mismos y como se aplican en la construcción con madera. Adicionalmente en este capítulo se habla de las consideraciones que se toman en las losas de entre pisos y techos de madera para su correcto funcionamiento.

El tercer capítulo profundiza más a detalle los diafragmas rígidos, presentado su descripción, recomendaciones para el diseño en madera y detalles constructivos. Se presenta también una breve metodología para el cálculo de la rigidez en sistemas de entre pisos de madera, aquí se le trata al diafragma como la unión de varios elementos estructurales.

En el cuarto capítulo se explica las características generales del método utilizado para determinar la rigidez del diafragma construido a base de madera. Se realiza un ejemplo de aplicación, esperándose lograr resultados satisfactorios

En el quinto capítulo se presenta las conclusiones, recomendaciones y se motiva a siguientes temas de tesis estudiando la madera como elemento estructural.

Finalmente se presenta la bibliografía utilizada para el desarrollo de esta tesis.



CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1. INTRODUCCIÓN

La filosofía de diseño antisísmico está orientada a proteger a los ocupantes y sus bienes del colapso de la estructura ante las cargas o acciones a las que esté sometida. Necesariamente el ingeniero encargado del diseño debe considerar la mayor cantidad de suposiciones durante el análisis de la estructura con la finalidad de estudiarlo en las condiciones más próximas al comportamiento posible de esa estructura.

El objetivo de este capítulo es abordar los principales problemas del comportamiento sísmico y del diseño de diafragmas construidos de madera.

Este capítulo inicia con la presentación de las generalidades sobre la madera como elemento estructural, a continuación se habla de los sistemas de entre pisos / cubierta, para posteriormente, presentar una clasificación del comportamiento de los diafragmas y los factores que afectan el comportamiento de los mismos.

2.2. MADERA COMO ELEMENTO ESTRUCTURAL

La madera es un material natural muy complejo, de poco peso y buena resistencia, pero de propiedades y características que no dependen sólo de su composición sino de su constitución (o de la manera en que están colocados u orientados los diversos elementos que la forman). Aunque el material es combustible, sus propiedades mecánicas no se afectan con el fuego, como sí ocurre con los materiales metálicos como el acero y el aluminio. Es muy susceptible a los cambios de humedad y al ataque de insectos; sin embargo esta desventaja puede eliminarse con tratamientos químicos de inmunización.

La madera es el único material con el cual se puede construir íntegramente una vivienda. Dentro de la construcción en madera se debe distinguir dos categorías de uso del material. En la primera se encuentra todo aquel utilizado con fines resistentes como son entramados de muros, techos, pisos elevados, columnas, que constituyen la estructura de la edificación, a esta categoría se la llama “Madera Estructural”, **Ver figura 1**. La segunda categoría consta de elementos utilizados como revestimientos, puertas, ventanas, muebles, que no están destinados a soportar cargas considerables, a esta categoría se la cataloga como “Madera no estructural”. (*Manual de diseño para el grupo andino, 1984*)

Por lo antes expuesto la madera utilizada para diafragmas debe cumplir fundamentalmente con requisitos de apariencia, resistencia y relativamente baja contracción y dilatación. Estas características solo se encuentran en maderas duras o pesadas, y rara vez en maderas medianamente duras. En la parte de la madera no estructural se debe emplear material que proporcione buena apariencia a la edificación.

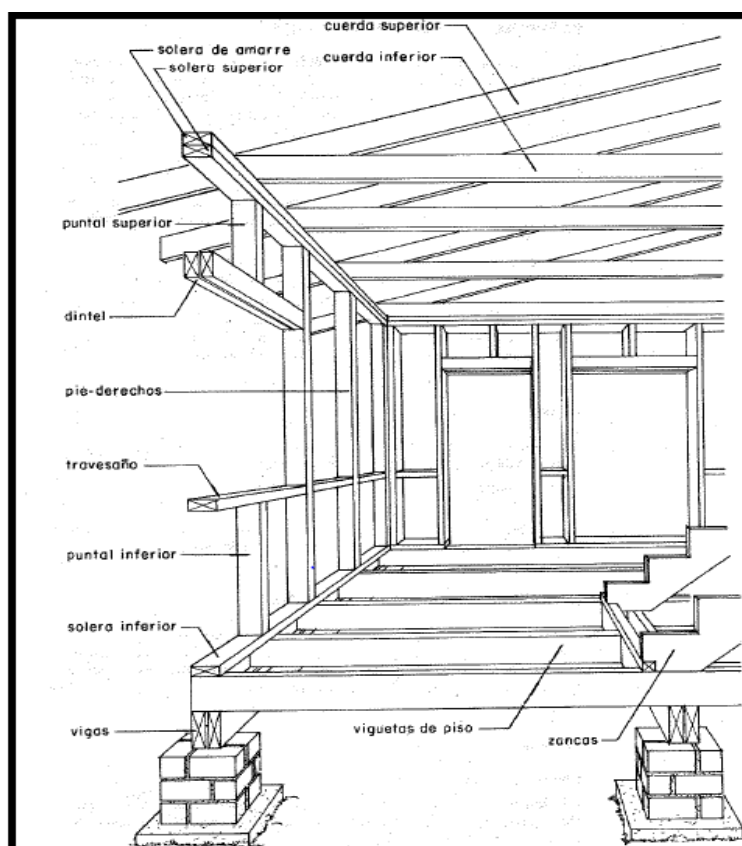


Figura 1: Madera de Construcción Estructural
Fuente: Manual de diseño para el grupo andino.

2.2.1. Requisitos generales

Las consideraciones que se deben tomar en cuenta para considerar que una madera es de uso estructural son las siguientes:

1. Debe ser material considerado como de uso estructural lo que quiere decir que debe cumplir con la norma de clasificación visual por defectos.
2. Debe ser madera de las especies forestales consideradas como adecuadas para construir.



3. Deben ser piezas de madera dimensionadas de acuerdo a las escuadrías o secciones preferenciales.

2.2.2. Contenido de Humedad

La madera absorbe o desprende humedad, según el medio ambiente. El agua libre desaparece totalmente al cabo de cierto tiempo, quedando, además del agua de constitución, el agua de saturación correspondiente a la humedad de la atmósfera que rodee a la madera, hasta conseguir un equilibrio, diciéndose que la madera esta secada al aire.

La humedad de la madera varía entre límites muy amplios. En la madera recién cortada oscila entre el 50 y 60 por ciento, y por enajenamiento puede llegar hasta el 250 y 300 por ciento. La madera secada al aire contiene del 10 al 15 por ciento de su peso de agua, y como las distintas mediciones físicas están afectadas por el tanto por ciento de humedad, se ha convenido en referir los diversos ensayos a una humedad media internacional de 15 por ciento.

La humedad de las maderas se determina de pesar probetas, húmedas y secas, el calorimétrico, la conductividad eléctrica, empleando higrómetros eléctricos, entre otros. Estas variaciones de humedad hacen que la madera se hinche o contraiga, variando su volumen y, por consiguiente, su densidad.

El porcentaje de humedad (H), se determina de la siguiente manera:

$$H = \frac{P_H - P_O}{P_O} * 100$$

Dónde:

P_H :Peso en el estado húmedo

P_O :Peso en el estado seco

En la construcción las maderas deben utilizarse siempre descortezadas y secas. Antes de la construcción, la madera deberá secarse a un contenido de humedad apropiado y tan parecido como sea práctico al contenido de humedad en equilibrio promedio de la región en la cual estará la estructura. Si el contenido de humedad de la madera excede el límite indicado para la madera seca (15 por ciento), el material solamente podrá usarse si el riesgo de pudrición en el tiempo que dure el secado es eliminado.



La madera deberá ser almacenada y protegida apropiadamente, contra cambios en su contenido de humedad y daño mecánico, de tal manera que siempre satisfaga los requerimientos de la clase estructural especificada.

2.2.3. Densidad y peso específico

La relación que existe entre la masa y el volumen de un cuerpo se llama densidad. Por costumbre cuando se usa el sistema métrico se toma la masa como el peso del cuerpo. El peso de la madera es la suma del peso de parte sólida más el peso del agua. El volumen de la madera es constante cuando están en el estado verde, el volumen disminuye cuando el contenido de humedad es menor que el punto de saturación de las fibras y vuelve a ser constante cuando se ha alcanzado el estado anhidro o seco al horno. Se pueden distinguir en consecuencia cuatro densidades para una misma muestra de madera: Densidad verde, seca al aire, anhidra y básica.

El peso específico es la relación entre el peso de la madera, a un determinado contenido de humedad, y el peso del volumen de agua desplazado por el volumen de la madera. Considerando que el agua tiene densidad igual a 1 puede decidirse que la relación entre la densidad de la madera dividida entre la densidad del agua igualan a su peso específico. En el sistema métrico la densidad y el peso específico tienen el mismo valor.

Según el Manual de Diseño en Maderas del Grupo Andino, las maderas se clasifican en los siguientes grupos:

- GRUPO A $\rightarrow \gamma \cong (750 - 850) \text{ k/m}^3$.
- GRUPO B $\rightarrow \gamma \cong (700 - 750) \text{ k/m}^3$.
- GRUPO C $\rightarrow \gamma \cong (600 - 750) \text{ k/m}^3$.

2.2.4. Contracción e Hinchamiento

La madera cambia de volumen según la humedad que contiene. Cuando pierde agua, se contrae, siendo mínima en la dirección axial o de las fibras, no pasa del 0.8 por ciento; de 1 a 7.8 por ciento, en dirección radial, y de 5 a 11.5 por ciento, en la tangencial.

El hinchamiento se produce cuando absorbe humedad. La madera sumergida aumenta poco de volumen en sentido axial o de las fibras, y de un 2.5 al 6 por ciento en sentido perpendicular; pero en peso, el aumento oscila del 50 al 150



por ciento. La madera aumenta de volumen hasta el punto de saturación (20 a 25 por ciento de agua), y a partir de él no aumenta más de volumen, aunque siga absorbiendo agua. Hay que tener muy presente estas variaciones de volumen en las piezas que hayan de estar sometidas a oscilaciones de sequedad y humedad, dejando espacios necesarios para que los empujes que se produzcan no comprometan la estabilidad de la obra.

2.2.5. Dureza

La dureza de la madera es la resistencia que opone al desgaste, rayado, clavado, etc. Depende de su densidad, edad, estructura y si se trabaja en sentido de sus fibras. Cuanto más vieja y dura es la madera, mayor la resistencia que opone. La madera de corazón tiene mayor resistencia que la de albura: la crecida lentamente obtiene una mayor resistencia que la madera que crece de prisa.

2.2.6. Hendibilidad

Conocida también como facilidad a la raja y es la aptitud de las maderas a dividirse en el sentido longitudinal bajo la acción de una cuña. El rajado es más fácil, en sentido de los radios.

2.2.7. Conductividad

La madera seca es mala conductora del calor y electricidad, no así cuando está húmeda. La conductividad es mayor en el sentido longitudinal que en radial o transversal, y más en las maderas pesadas que en las ligeras o porosas, por lo cual se emplean como aisladores térmicos en las paredes.

2.3. DIAFRAGMAS

2.3.1. Definición

Un diafragma puede definirse como un conjunto estructural horizontal o ligeramente alejado de la horizontal, de espesor pequeño respecto de sus otras dos dimensiones, que tiene la capacidad de trabajar bajo fuerzas contenidas en su propio plano, y a su vez transmite las cargas al resto de elementos verticales. Comúnmente se usa en pisos y muros de cortante. **(McCormac, 2011) Ver Figura 2**

También se lo puede definir como un elemento horizontal o cercano a la horizontal, que actúa como transmisor de las fuerzas laterales hacia los

elementos resistentes a cargas horizontales. La UBC-97 resalta que cuando el término “Diafragma” es utilizado, este incluye un sistema de arrostramiento horizontal.

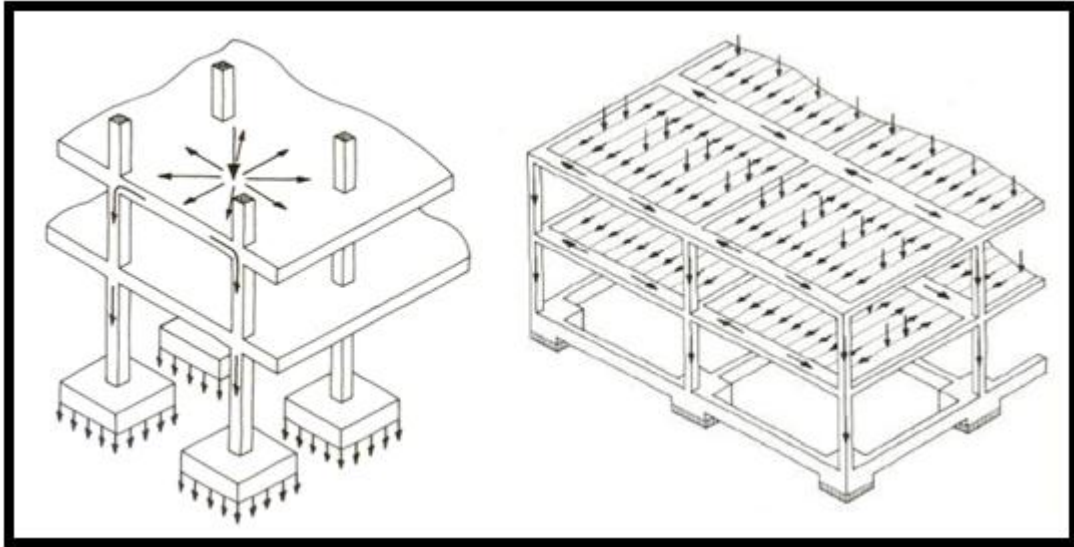
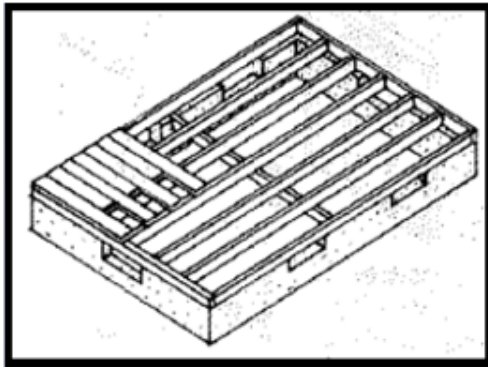


Figura 2:

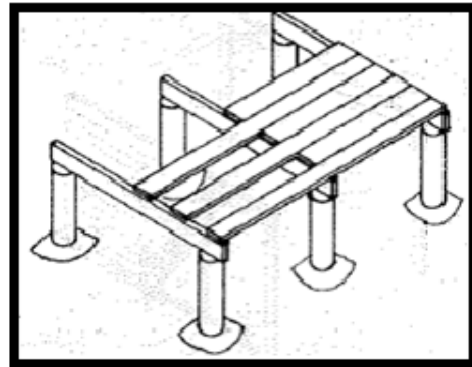
2.3.2. Generalidades

La función primaria de un sistema de piso y/o cubierta “Diafragma” es la de soportar las cargas gravitacionales y transferir las cargas al resto de miembros estructurales como columnas y paredes. Por otro lado, estos elementos juegan un papel muy importante cuando en la estructura se presenta la acción de fuerzas horizontales, sismo o viento, ya que de estos elementos depende la distribución de dichas fuerzas horizontales hacia los elementos verticales.

Los pisos y entrepisos de madera están constituidos por vigas, viguetas y piso propiamente dicho, como ya se estableció anteriormente estas estructuras están compuestas de una parte estructural y una parte de revestimiento. De aquí parten dos sistemas constructivos de pisos y entrepisos de madera, el primero es el sistema de “entramado” con el revestimiento relativamente liviano, ya que se apoya sobre viguetas y vigas y estas sobre vigas o muros **Figura 3.A**; y el segundo es el sistema de poste y viga donde el revestimiento es pesado (entablados de hasta 5cm de espesor), ya que se apoya directamente sobre las vigas cubriendo luces mayores. **Figura 3.B**



A: Sistema de entramados.



B: Sistema poste y viga.

Figura 3: Sistemas constructivos de entre pisos.

Fuente: Manual de diseño para el grupo andino.

En cualquiera de los dos sistemas, los elementos verticales portantes (columnas, paredes, muros, etc.) trabajan a compresión, mientras los diafragmas (entrepisos /Cubierta) trabajan a flexión-cortante en la forma de una viga o placa sometida a cargas perpendiculares a su plano. En este caso, apoyos simples y directos entre los pisos, vigas y elementos verticales portantes, pueden resultar suficientes para transmitir la carga en sentido estrictamente vertical. (Vélez P, 2013)

En el diseño sísmico de estructuras independientemente del material utilizado se debe considerar que todos los elementos de la edificación trabajan como un único conjunto bajo la acción de fuerzas sísmicas, incrementando así, la resistencia de la edificación. Cuando se presentan fuerzas horizontales, estas son transferidas al terreno a través de los sistemas verticales (marcos y paredes) del edificio. Estos sistemas verticales son unidos entre sí por medio de pisos y cubiertas. En este caso, los diafragmas reciben y acumulan las fuerzas horizontales trabajando como membrana y distribuyen las fuerzas entre los diferentes elementos verticales, los cuales, trabajan a flexión-cortante. **Ver figura 4**

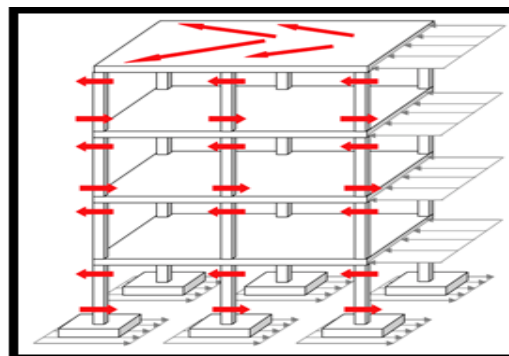


Figura 4: Sistema estructural bajo la acción de acciones horizontales.

Fuente: Estudio de la rigidez de los diafragmas de entrepiso.

El análisis y diseño de un sistema de piso o cubierta (diafragma), bajo la influencia de cargas horizontales, es desarrollado asumiendo que el sistema es una viga horizontal continua, soportada por los elementos resistentes a cargas horizontales. De esta manera, el entrepiso es asumido para actuar como el alma de una viga continua y las vigas en la periferia son asumidas para actuar como las alas de una viga continua. **(Naeim, 2001) Ver Figura 5**

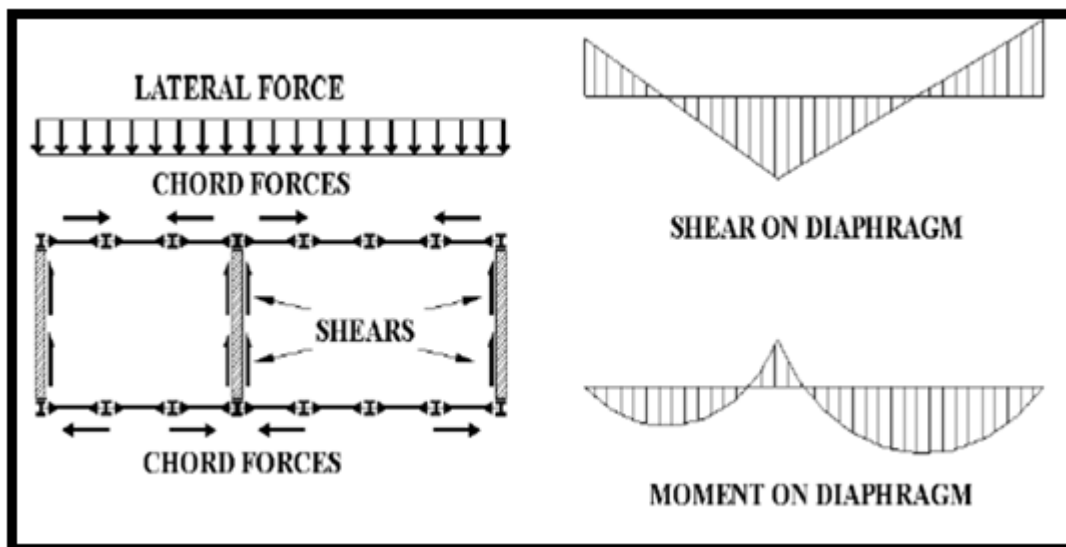


Figura 5: Fuerzas de diseño en los diafragmas.

Fuente: Estudio de la rigidez de los diafragmas de entrepiso.

La capacidad resistente a cargas laterales de los diafragmas de madera depende de la disposición y distanciamiento del entramado, del tipo de revestimiento y de su sistema de fijación.

Se puede diseñar con el método de la longitud equivalente, que se la detallaran el capítulo posterior. Alternativamente el diseño puede reducirse a una verificación de las prescripciones del Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino (ver capítulo 10).

Los diafragmas deberán ser lo suficiente rígidos para limitar los desplazamientos laterales, reducir la amplitud de vibraciones y proporcionar arrostramiento a otros elementos de la estructura, evitando su pandeo lateral.

La precisión en la determinación del cortante y de los momentos flectores que actúan en el diafragma de piso, y la correspondiente fuerza horizontal distribuida a lo largo de varios elementos verticales resistentes requiere de un análisis tridimensional que considere la rigidez relativa de la variedad de elementos, incluyendo la rigidez del diafragma de piso.



2.3.3. Clasificación de los diafragmas según su comportamiento

Un diafragma es un elemento tridimensional que recibe solicitaciones en un “plano” uni - axial este es uno de los de mayor rigidez. La distribución de fuerzas horizontales a través de los diafragmas horizontales hacia los diferentes elementos verticales (marcos y paredes), depende de la rigidez relativa de los diafragmas horizontales y de los elementos verticales. De acuerdo a esta consideración, los diafragmas se clasifican como rígido, flexibles y semi-rígido (**Vélez P, 2013**)

a) Diafragma rígido:

A un diafragma se le debe considerar como rígido si este puede distribuir las fuerzas horizontales a los elementos verticales en proporción a su rigidez relativa. En el caso de estos diafragmas, la deflexión comparada con la de los elementos verticales será insignificante. (**UBC, 1997**)

La línea discontinua de la **Figura 6 b**, indica la deflexión del sistema bajo la influencia de fuerzas horizontales cuando el diafragma es rígido. Este puede ser obtenido incrementando (H) y disminuyendo (L), ya que la rigidez del diafragma relativo a las paredes es significativamente mayor. En este caso, la deflexión del diafragma bajo cargas horizontales es insignificante si comparamos con la deflexión de las paredes. Para este caso, el diafragma se moverá como un cuerpo rígido y forzará a las paredes a moverse conjuntamente. Por otro lado, la distribución de la fuerza horizontal a lo largo de las paredes dependerá solamente de la rigidez relativa de las paredes. En este caso se asumió que la carga aplicada y la rigidez de las paredes son simétricas. Si este no es el caso, además de la traslación del cuerpo rígido, el diafragma experimentará una rotación.

b) Diafragma flexible:

Un diafragma es llamado flexible si la distribución de las fuerzas horizontales hacia los elementos verticales es independiente de su rigidez relativa. En este caso, la deflexión del diafragma comparada con la de los elementos verticales será significativamente mayor. En el caso de este tipo de diafragmas las cargas laterales se distribuyen a los elementos verticales como una serie de vigas simples extendidas entre los elementos (áreas tributarias).

En la **Figura 6 c**, se muestra la deflexión del sistema bajo la influencia de fuerzas horizontales cuando el diafragma es flexible. Esto puede ser obtenido disminuyendo H e incrementando L; en este caso, la rigidez del diafragma

entre las paredes actuara como una serie de vigas simples y la distribución a las paredes podrá ser determinado en función del área tributaria del diafragma a la pared. Obviamente, un diafragma flexible no puede experimentar la rotación o torsión que ocurre en el caso de un diafragma rígido. **(Naeim, 2001)**

c) Diafragma semi-rígido:

Un diafragma es llamado semi-rígido cuando la deflexión del diafragma, y la deflexión de los elementos verticales son del mismo orden de magnitud. Cabe indicar que ningún diafragma es perfectamente rígido o perfectamente flexible, esto dependerá del uso de suposiciones razonables, de manera que se pueda lograr una simplificación en su análisis. **Figura 6 d).**

Un análisis exacto de los sistemas estructurales con diafragmas semi-rígidos conlleva un análisis demasiado complejo, debido a que se debe considerar la rigidez relativa de todos los elementos estructurales, incluyendo los diafragmas. La distribución de cargas horizontales de este tipo de diafragma puede ser aproximada a una viga continua soportada en apoyos elásticos. En muchos de los casos, en donde se consideran estos diafragmas, se pueden hacer suposiciones, buscando limitar la solución exacta sin tener que recurrir a un análisis tan complejo. **(Naeim, 2001)**

Por esta razón en la mayoría de bibliografía consultada y en programas de diseño estructural, no se habla ni modela este tipo de diafragmas, y se recomienda que se les califique como flexibles.

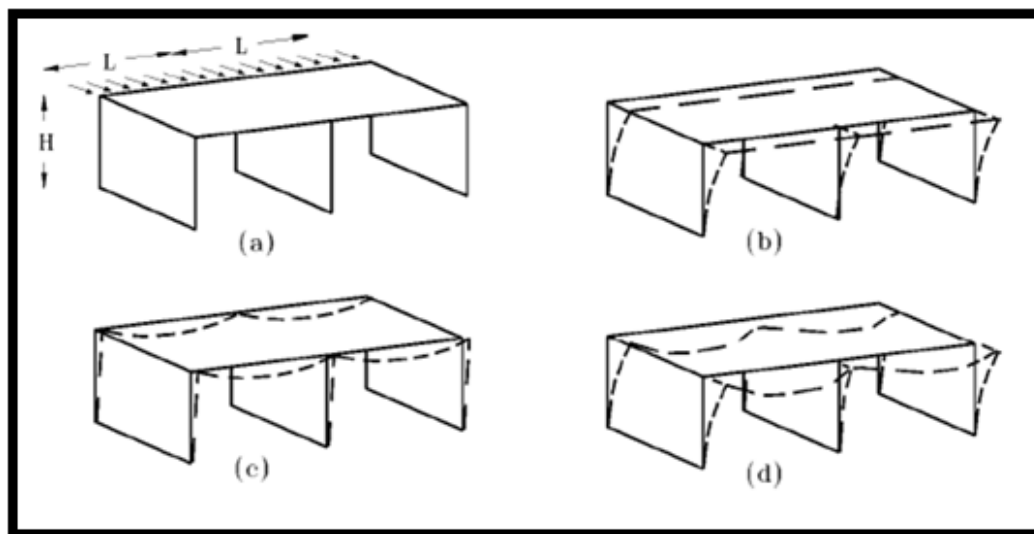


Figura 6: Comportamiento de los diafragmas.

Fuente: Estudio de la rigidez de los diafragmas de entrepiso.



La geometría y la rigidez de los diafragmas, aunque son importantes, no son factores que determinan si el comportamiento de un diafragma es rígido o flexible. La rigidez de las paredes disminuye con un aumento de (H). Del mismo modo, la rigidez del diafragma disminuye con un aumento de la luz del diafragma. (L). **(Vélez P, 2013)**

2.3.4. Rigidez de un diafragma.

Para lograr obtener la rigidez de los diafragmas, es necesario estimar la deflexión de los diafragmas bajo la influencia de cargas laterales. Los diversos sistemas de piso y techo que se han desarrollado, principalmente para soportar cargas gravitacionales, no se prestan fácilmente para el cálculo analítico de deflexiones laterales, uno de los casos usados es el entrepiso de madera con recubrimiento de plywood.

Los elementos de pisos, techos o paredes, pueden ser diseñados para actuar en conjunto como diafragmas o muros de corte. Los diafragmas que constituyen pisos o techos permiten distribuir las fuerzas laterales a los diversos elementos verticales resistentes y estos a su vez transmiten a la cimentación. La resistencia y rigidez de los diafragmas de madera dependerá principalmente de la separación de las conexiones como ya se explicó anteriormente.

Para un análisis y diseño detallado de estructuras constituidas por diafragmas de madera, es indispensable determinar las fuerzas que actúan sobre cada uno de estos componentes por separado. Este proceso es complicado y determina un esfuerzo grande en comparación con la construcción de la toda la edificación. El comportamiento de una estructura de este tipo depende básicamente de la rigidez relativa de los diafragmas de piso u horizontales. **(Manual de diseño para el grupo andino, 1984)**

La determinación de las deflexiones y de la rigidez de cada diafragma a través de un análisis computacional resulta muy compleja. En las construcciones con madera, el plywood es clavado directamente a los otros miembros de la estructura. Otra vez, la resistencia y la rigidez dependen del espaciamiento de los clavos y de si el diafragma esta fijo.

Por lo general en la práctica, se consideran como diafragmas rígidos a los contruidos de concreto, prefabricado con concreto fundido, y placa colaborante con relleno de concreto. Mientras los diafragmas prefabricados o de placa colaborante sin relleno de concreto, y plywood como flexible. Esta clasificación es válida para muchos de los casos. Sin embargo, grandes son los errores que



se pueden conseguir en la distribución de la fuerza horizontal, si las suposiciones utilizadas en el análisis no consideran la rigidez relativa de los elementos verticales resistentes a las fuerzas horizontales y la de los diafragmas. (**Vélez P, 2013**)

2.3.5. Consideraciones para el diseño

El factor que determina el comportamiento de los diafragmas es la configuración de la estructura. Cambios abruptos de rigidez y resistencia, como los indicados a continuación, deben ser evitados por parte de los diseñadores estructurales, con la finalidad de impedir una acumulación de daño en algunos componentes de la estructura, afectando la ductilidad global del sistema. Si el diseñador utiliza una configuración similar a las no recomendadas, éste deberá demostrar el adecuado desempeño sísmico de su estructura, siguiendo los lineamientos establecidos en las normas de diseño (**NEC 2011**).

En los entrepisos de madera, las dimensiones y la calidad de las vigas, viguetas y del entablado están determinadas por efectos de flexión producidas por las cargas verticales. Las cargas laterales influyen poco en el diseño de estos elementos. Un diseño óptimo es garantizar que las fuerzas cortantes en los diafragmas horizontales sean pequeñas y por lo tanto no sea necesario verificar su rigidez o resistencia.

Los diafragmas deben ser lo suficiente rígidos para:

- a.-** Limitar los desplazamientos laterales evitando daños a otros elementos, especialmente elementos no estructurales con una relación de rigidez a resistencia relativamente alta.
- b.-** Reducir la amplitud de las vibraciones en muros y pisos a límites aceptables.
- c.-** Proporcionar arrostramiento a otros elementos para impedir su pandeo lateral o lateral torsional.

Existen varios factores que afectan al comportamiento de las estructuras de madera. En esta sección, se presentan algunos de los lineamientos que permitirán identificarlos y considerarlos adecuadamente durante el análisis y el diseño.

a) Conexiones



Las uniones de los diafragmas tanto entre sí como con otros elementos, deben ser adecuadas para transmitir y resistir las fuerzas cortantes de sismo o viento.

b) Esbeltez

Esto tiene relación con los muros, el manual de diseño de madera para el grupo andino recomienda que si la relación de la altura con respecto a la longitud es mayor a dos no debe considerarse como resistente.

c) Aberturas en diafragmas.

El diseñador debe prestar especial atención si se presentan edificaciones con aberturas amplias en uno o más pisos (***ver Figura 7***), estas aberturas reducen considerablemente la rigidez y resistencia de estos elementos horizontales, por lo cual es deben reforzarse con elementos adicionales en todo el perímetro.

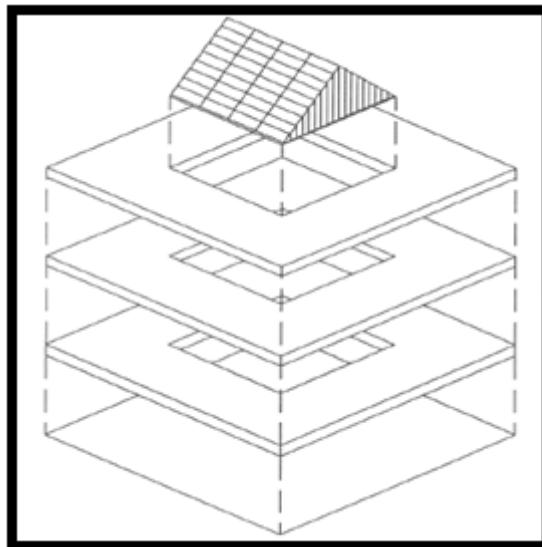


Figura 7: Edificación con abertura en los diafragmas.
Fuente: Estudio de la rigidez de los diafragmas de entrepiso.

d) Deformaciones admisibles.

El proyectista debe decidir con un buen criterio y en base al código de su país o región, cual es la máxima deformación que considera tolerable bajo condiciones de servicio como son el viento y sismos moderados y valerse del valor de la rigidez para evaluar la deformación actuante

2.3.6. Flexibilidad de los diafragmas en los códigos de construcción.

Las recomendaciones contenidas en las normas UBC-97, ASCE 7-2010, NEC-2011 y IBC-2012, con relación a la metodología de distribución del cortante, son similares, con un grado de variación en función del detalle de la información. En general, los códigos contienen una cláusula que limita, en el plano, la deflexión de los diafragmas de piso, indicándose como premisa inicial, que la deflexión en el plano de los diafragmas no deben exceder la deflexión permisible de los elementos de apoyo. Esta deflexión permisible deberá ser la deflexión que permita que los elementos de apoyo mantengan su integridad estructural bajo la acción de las cargas de diseño.

Por su parte, las normas UBC-97 y ASCE 7-2010, establecen una recomendación para la identificación de los diafragmas flexibles en los sistemas estructurales. Para propósitos de distribución del esfuerzo cortante y el momento torsional, esta norma limita la deformación máxima lateral del diafragma a 2 veces el desplazamiento promedio por piso del piso asociado. Superada esta condición el diafragma debe ser considerado como flexible. Esta condición puede determinarse comparando el punto medio calculado en la deflexión en planta del diafragma bajo cargas laterales, con el desplazamiento por piso de los elementos verticales colindantes resistentes a las fuerzas verticales, bajo una carga tributaria lateral equivalente. **(Ver Figura 8)**

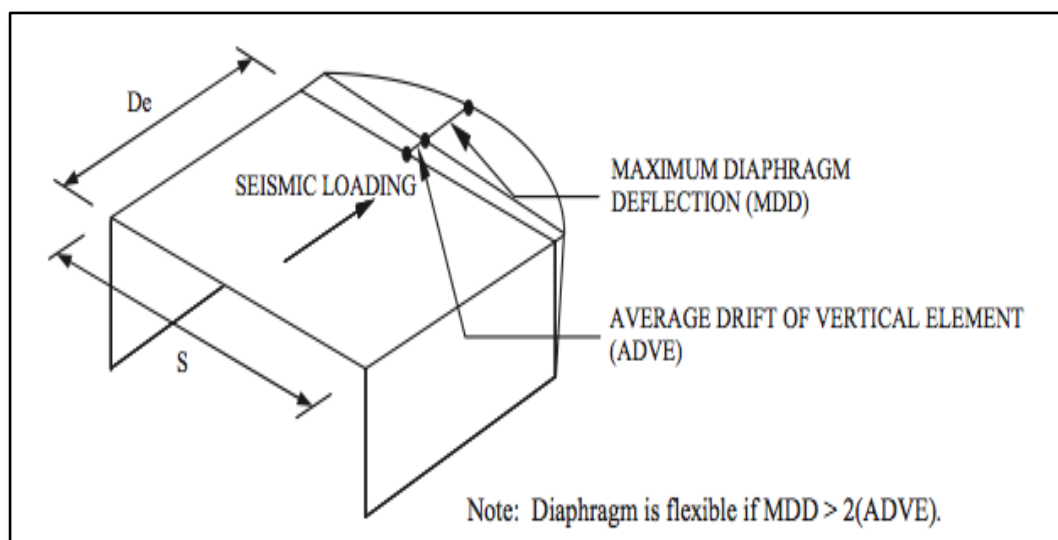


Figura 8: Esquema para la determinación de la flexibilidad del diafragma(ASCE, 2010)

Fuente: Estudio de la rigidez de los diafragmas de entrepiso



CAPITULO 3: DIAFRAGMAS DE MADERA

3.1. INTRODUCCIÓN

Como se ha comentado en el capítulo anterior, la capacidad de transferir las fuerzas horizontales a los elementos verticales de soporte, depende de la rigidez al cortante de los diafragmas de entrepiso. Con miras a cumplir con el objetivo principal de esta tesis, durante este capítulo se estudiara los diafragmas de madera considerando sus propiedades, normativas, especificaciones y rigidez.

Para comenzar este capítulo se da una descripción más detallada de los diafragmas de madera, posteriormente se realiza una explicación acerca de las hipótesis establecidas para el análisis del diafragma de madera. Después sabiendo que la rigidez del conjunto de elementos de madera (diafragma) depende fundamentalmente de las conexiones se trata este tema. Finalmente se abarca el cálculo de la rigidez del diafragma a estudiar ante el cortante, detalles constructivos y se establece una metodología para el cálculo.

3.2 DIAFRAGMAS RÍGIDOS

3.2.1. Generalidades

a) Definición y Descripción

Hay que partir definiendo que un entrepiso es una plataforma horizontal que se apoya sobre un conjunto de vigas y columnas, tabiques, muros de otros materiales o combinaciones de estos. La plataforma se compone de un sistema de vigas secundarias sobre la cual se coloca una cubierta de tablones, duelas o planchas de algún otro material.

El entrepiso cuando actúa como diafragma, transmite las fuerzas horizontales a los elementos verticales de la estructura. Se da este nombre, a la estructura que separa un piso de otro en un edificio.

Se considerará que una estructura tiene un diafragma rígido si el sistema de entrepiso que transmite las fuerzas de inercia a los elementos verticales resistentes conserva su forma después de la aplicación de una carga lateral cualquiera, es decir, si el sistema de entrepiso no experimenta distorsiones apreciables.



Los sistemas de entrepiso tienen como una de sus funciones el de conectar todos los elementos verticales y distribuir a ellos todas las cargas horizontales de manera uniforme sin deformarse, para esto se considera que el sistema de piso forma un diafragma con rigidez infinita en su plano, lo cual no se aleja de la realidad, ya que los sistemas comunes de losas poseen alta rigidez para resistir fuerzas en su plano.

El diseñar con diafragmas rígidos es de gran importancia para el correcto desempeño de una edificación. La falta de estos produce diversos problemas, como lo son:

- Las fuerzas de inercia y los cortantes de piso no se distribuyen hacia los elementos resistentes en forma proporcional a su rigidez.
- En los sistemas de muros las fuerzas de inercia pueden producir empujes sobre los elementos perpendiculares a la dirección de las fuerzas sísmicas, pudiendo quedar sujetos los muros a fuerzas normales a su plano, para lo cual poseen escasa resistencia.
- Se puede generar una distorsión de la estructura en planta y así invalidar la hipótesis de que las fuerzas sísmicas, que actúan en una dirección arbitraria, se puedan descomponer en dos fuerzas aplicadas al sistema ortogonal resistente de la estructura.

Para evitar los problemas mencionados anteriormente se deben formar diafragmas rígidos en todas las estructuras. En caso de que la planta no posea el diafragma rígido debido a alguna disposición arquitectónica, se puede rigidizar la losa incorporando arrostramientos horizontales sobre vigas paralelas. De no poner rigidizar el sistema, existen métodos de análisis que consideran las deformaciones en su plano de los elementos de piso.

Si se considera un entrepiso muy rígido en su propio plano; se puede idealizar como un cuerpo rígido, y describir cualquier coordenada dentro del diafragma. La localización de cualquier punto dentro del diafragma se puede describir a partir de 2 desplazamientos horizontales y un giro.

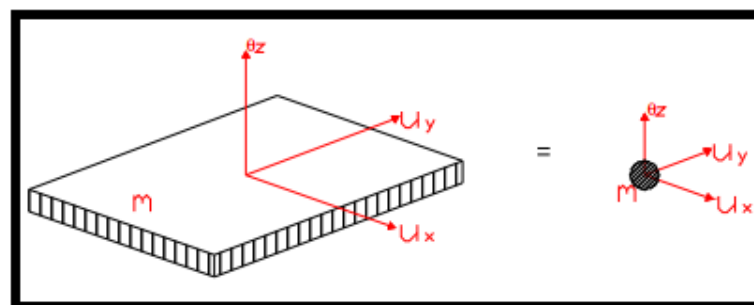


Figura 9: Idealización de un entrepiso muy rígido.

FUENTE: Estructuras de Madera.

Se toma el origen en el centro de masa del diafragma. Los desplazamientos verticales en columnas y diafragma, y las rotaciones alrededor de los ejes horizontales, se muestran en la siguiente gráfica.

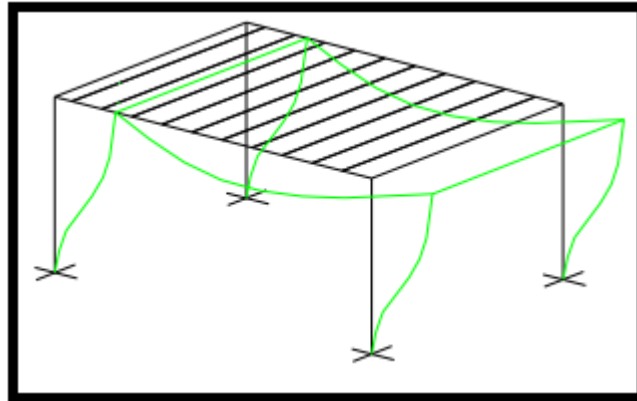


Figura 10: Desplazamientos verticales en columnas y diafragmas.

FUENTE: Estructuras de Madera.

“Dos puntos de una losa de entrepiso, que se idealice como diafragma rígido no pueden tener desplazamientos relativos horizontales, pero si desplazamientos verticales y giros respecto a ejes horizontales”. [García. L.E.]

b) Ventajas y Propiedades de diafragmas contruidos con madera.

Liviandad: El peso propio de los elementos laminados es bastante inferior a los elementos tradicionales de acero u hormigón, significando una reducida inercia, que en países sísmicos como Chile constituye una importante ventaja. Calidad estructural y resistente a condiciones climáticas.

Flexibilidad: Se logran diseños de formas diversas, cubriendo grandes luces sin apoyos intermedios.

Aislación térmica: Como ya se mencionó, la madera tiene una transmisión térmica inferior a los materiales tradicionales (acero y hormigón), lo que significa excelentes propiedades aislantes.

Aislación eléctrica: La madera seca es un excelente aislante térmico y eléctrico. Las estructuras de madera no generan el efecto de “Jaula de Faraday” que impide o distorsiona las recepciones de radio o TV. Su insensibilidad al magnetismo es la hacen apropiada para la construcción de salas de transmisión y laboratorios de investigación.

Resistencia química: En ambientes ácidos o alcalinos no reacciona con agentes oxidantes o reductores.



Universidad de Cuenca

Resistencia al fuego: La madera laminada resiste por largo tiempo una eventual exposición ante las llamas, muchos ensayos han demostrado que sólo se compromete 1,5 a 2,0 cm de la superficie exterior.

Estética: El grado de terminación y calidez de la madera se hace presente en forma notable en las estructuras de madera laminada encolada.

Elevada estabilidad dimensional: Gracias a su proceso de producción, la madera laminada encolada ofrece una gran estabilidad dimensional y un mínimo de grietas.

Gran variedad de formatos: La madera laminada encolada puede producirse en casi cualquier formato y dimensión.

Acabado de alta calidad: Aspecto uniforme y excelente con escáner y cepillo de la última tecnología.

Hinchamiento y contracción: La madera laminada encolada está secada a la humedad de montaje. De esta forma se minimizan los fenómenos de hinchamiento y contracción naturales, así como la formación de rendijas y grietas.

Seguridad sísmica: La madera laminada encolada permite realizar estructuras con una elevada seguridad sísmica.

3.2.2. Conexiones de elementos de madera

El mayor problema al diseñar estructuras de madera es la solución de aquellos puntos en que convergen dos o más piezas (nudos), de modo que se puedan transmitir adecuadamente sus esfuerzos. Estas conexiones deben ser lo suficientemente rígidas como para que la deformación total de la estructura no exceda ciertos valores estimados como admisibles.

Los elementos que se usan para las conexiones se los condiciona tanto en su capacidad de transmisión de carga como a la deformación que experimentan al quedar sometidos a carga. Tradicionalmente se distinguen dos comportamientos opuestos: uno totalmente rígido representado por las colas y otro sumamente flexible presentando grandes deformaciones y que corresponde al caso de los pernos. En un plano, intermedio se sitúan los clavos. Cada medio de unión presentará ventajas y desventajas adecuándose cada uno a campos específicos.



3.2.2.1. Conexiones clavadas

Por lo general las uniones clavadas son las más económicas, y son muy usadas en especial para viviendas y edificaciones pequeñas construidas en base a entramados.

Los clavos se fabrican en un amplio intervalo de tamaños y formas, según el uso que se quiera dar. Varían en tamaño desde las pequeñas tachuelas a gigantescas escarpas. Los clavos se clavan mediante un martillo, sin embargo para clavar muchos clavos, actualmente se cuenta con una gran variedad de dispositivos mecánicos para clavar.

Todas las especies del grupo estructural C y muchas del grupo B pueden clavarse fácilmente, sobre todo cuando la madera se encuentra en condición verde; las maderas más densas y/o secas son por lo general más difíciles de clavar. Si se clavan maderas del grupo estructural A es conveniente hacer un pre-taladro con un diámetro del orden de 0.8 veces el diámetro del clavo, esto a menos que se usen clavos de alta resistencia, clavados mediante dispositivos mecánicos especiales. Es importante que cada conexión por lo menos se use dos clavos. ***(Manual de diseño para el grupo andino, 1984)***

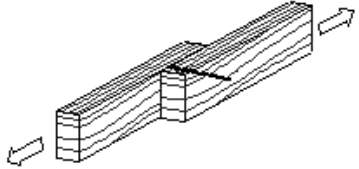
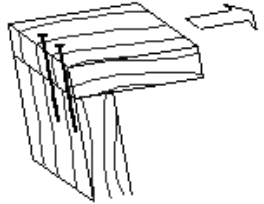
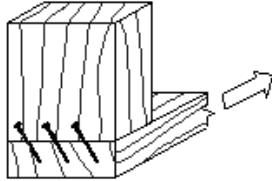
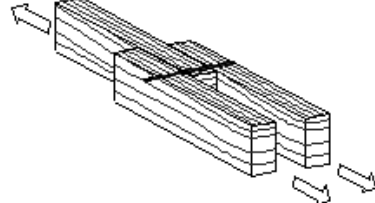
Tipo de Unión	Esquema
a. Cizallamiento simple, clavo perpendicular al grano	
b. Cizallamiento simple, clavo a tope(paralelo al grano de la madera que contiene la punta)	
c. Cizallamiento simple, clavos lanceros	
d. Doble cizallamiento, clavo perpendicular al grano	

Figura 11: Tipo de conexiones clavadas.

Fuente: Manual de diseño para el grupo andino.

3.2.2.2. Uniones Encoladas

Son uniones rígidas de efecto resistente superficial proveniente de acciones mecánicas y químicas. Su rigidez es tal que generalmente falla antes la madera vecina a la conexión. Corresponden al medio de unión de maderas más nuevo y se proyecta el de mayores posibilidades para el futuro. Sus principales ventajas se detallan a continuación:

- 1.- Posibilitan la ejecución de secciones de piezas no limitadas por las del material original.
- 2.- La efectividad de las secciones transversales compuestas encoladas es completa, esto es, no se producen corrimientos relativos entre los componentes.
- 3.- Facilita la industrialización en la producción (prefabricación).



- 4.- Permiten un consumo económico de la madera (tablas y tablones).
- 5.- Neutralizan las fallas naturales de la madera.
- 6.- Las uniones endentadas y en bisel permiten la construcción de uniones no visibles originando piezas de considerable longitud.
- 7.- Las estructuras encoladas poseen una alta resistencia al fuego, e incluso pueden ser calculadas para este objeto.
- 8.- Se materializan sin debilitar las piezas a unir como sucede con los restantes medios de unión.
- 9.- Implican economías en el consumo del acero.
- 10.- Estas últimas estructuras poseen una excelente resistencia a los ataques químicos.
- 11.- Abren posibilidades de ampliaciones, reparaciones en obra, modificaciones y desmontaje sin grandes dificultades.

3.2.2.3. Conexiones con pernos

Son uniones desmontables de tipo puntual. El perno constituye uno de los medios de unión más antiguos y usados pese a que la capacidad de transmisión de carga en relación al consumo de acero es bastante reducida.

En el funcionamiento de una conexión apernada se producen tres fases distintas en la transmisión de fuerzas:

En un comienzo, y especialmente para pernos fuertemente apretados la unión trabaja por roce. Luego los pernos se ubican contiguos a la madera presionando las paredes de los agujeros. Esta presión que inicialmente es uniforme en su distribución sobre la superficie del agujero, con el aumento de la carga se des - uniformiza debido al efecto flector que se produce en el perno, generándose concentraciones localizadas de tensiones en los bordes de la madera. El perno deformado se incrusta en la madera. Finalmente, esta deformación del perno es tal que los corrimientos que ha experimentado la unión superan ampliamente las deformaciones admisibles en uniones estructurales. Para efectos de cálculo de uniones apernadas se considera la segunda fase.



Las uniones con pernos deberán realizarse de manera que exista contacto efectivo entre las piezas unidas. Si el contenido de humedad es alto, al efectuarse el montaje de la estructura en cuestión deberán hacerse inspecciones a intervalos no superiores a seis meses hasta verificar que los movimientos por contracciones han dejado de ser significativos. En cada inspección deberán apretarse los elementos de unión hasta lograr un contacto efectivo entre las caras de las piezas unidas. Además se recomienda que todos los elementos metálicos utilizados con madera húmeda tengan un tratamiento anticorrosivo.

Las uniones apernadas son particularmente eficientes con maderas de los grupos estructurales A y B, pero pueden utilizarse con maderas del grupo C.

Cuando se utilicen piezas metálicas de unión, los agujeros deberán localizarse de manera que queden correctamente alineados con los agujeros correspondientes en las piezas de madera. Se colocará una arandela entre la cabeza o la tuerca del elemento de unión y la madera para evitar esfuerzos de aplastamiento excesivos. Las arandelas podrán omitirse cuando la cabeza o la tuerca del elemento se apoyen directamente sobre una placa de acero.

Las cargas admisibles están basadas en resultados de ensayos efectuados a uniones con pernos según la norma ASTM D 1767 – 74, sometidos a doble cizallamiento. Estos resultados corresponden a 46 especies, con uniones cargadas paralelamente al grano o en dirección perpendicular al grano del elemento central y con relaciones entre el espesor del elemento central y el diámetro del perno.

3.2.3. Detalles constructivos y recomendaciones para el diseño

Un entrepiso se diseña para colaborar con los demás elementos estructurales, y está conformado por una placa rígida que transmite los esfuerzos horizontales a los muros soportantes, pilares y columnas que conforman pórticos.

Los elementos estructurales que conforman un entramado de piso y entrepiso rígidos son: **(Corporación Chilena de la madera, 2011)**

3.2.3.1. Vigas

Elementos estructurales lineales (horizontales o inclinados), que salvan luces y que son solicitados por reacciones tales como: peso propio, sobrecargas de uso, viento, nieve y montaje, entre otros. Trabajan principalmente en flexión y corte. Un conjunto de vigas es lo que conforma básicamente la plataforma de piso o entrepiso.

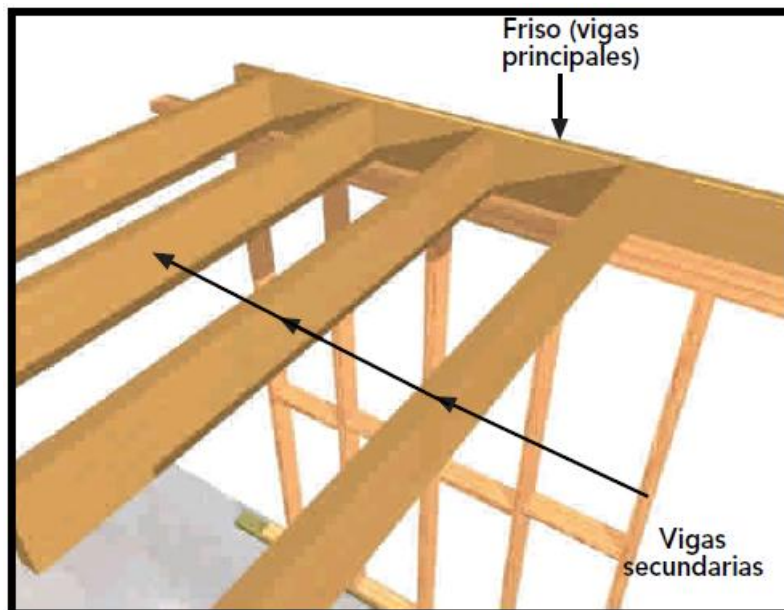


Figura 12: Vigas que conforman el entramado de entrepiso

Fuente: Corporación Chilena de la madera.

3.2.3.2. Cadenetas o crucetas

Son aquellos elementos que se ubican entre las vigas, permitiendo repartir las cargas y sobrecargas. Evitan las deformaciones laterales, volcamientos y posibles curvaturas de las mismas.

Permiten además materializar un apoyo sólido para los tableros orientados ortogonalmente a la dirección de las vigas.

Se distinguen dos tipos de cadenetas:

a) Cadenetas propiamente

Elementos rectos de similares secciones a las vigas, que se disponen en forma ortogonal a éstas.

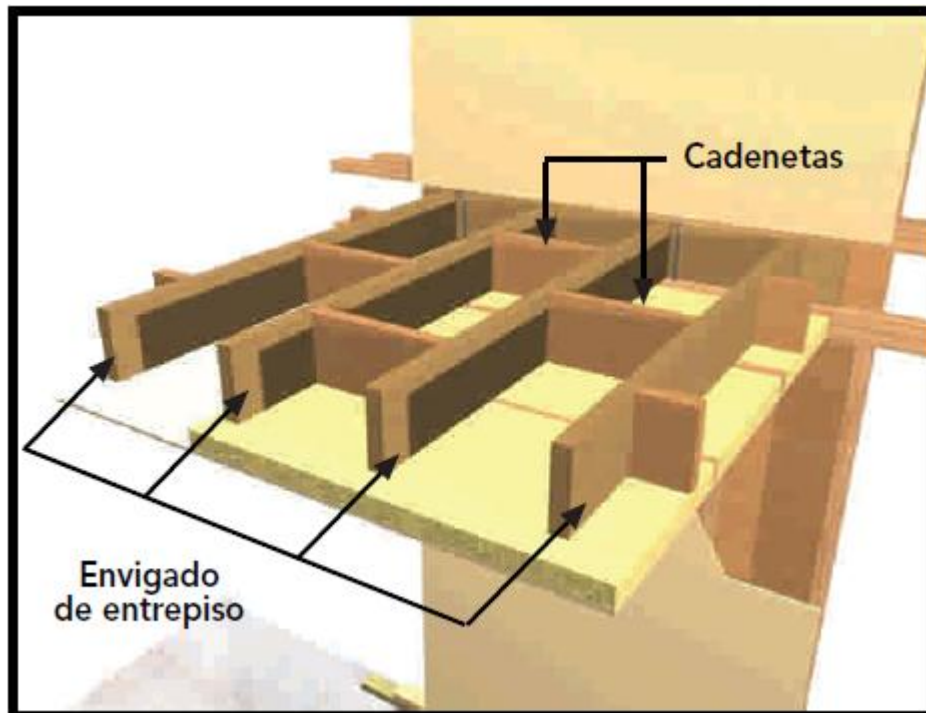


Figura 13: Piezas de madera dispuestas en forma normal, de sección similar a las vigas.
Fuente: Corporación Chilena de la madera.

b) Crucetas

Elementos rectos que se disponen en forma diagonal entre las vigas y que desempeñan la misma función de las cadenas. Ofrecen la ventaja de mantener ventiladas las vigas y la tras cara de bases y revestimientos de piso. En el caso de crucetas de madera de 2" x 3", se recomienda fijarlas inicialmente en uno solo de sus extremos, para una vez adquirida la humedad de equilibrio de las piezas de la plataforma, se proceda a fijar el otro extremo. Esta última fijación se debe efectuar antes de proceder a colocar el cielo, bajo el entrepiso o bajo la colocación de aislación térmica del piso de la plataforma del primer piso.

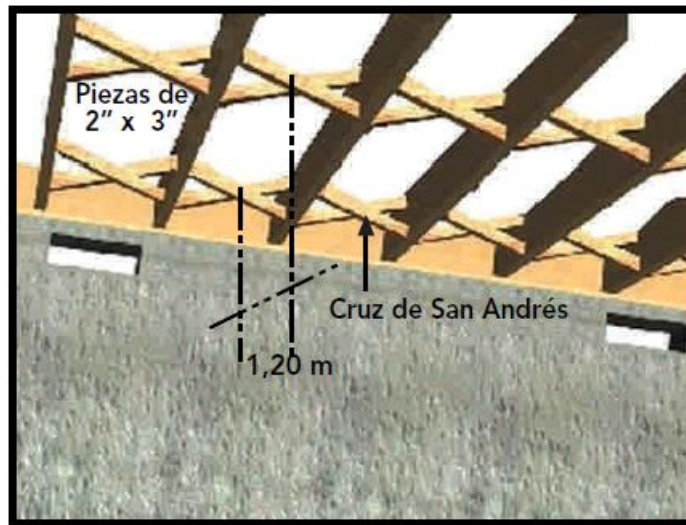


Figura 14: Crucetas distancia máxima recomendada 1,20 m.

3.2.3.3. Riostras

Conjunto de elementos que colaboran en la rigidización de la estructura de la plataforma; pueden ser de diferentes formas y materiales. Las riostras que se pueden usar son:

a) Riostras con piezas de madera

Piezas diagonales de dimensiones similares a la sección de las vigas, dispuestas entre éstas y las cadenetas. Para su colocación, una vez afianzadas las cadenetas es conveniente realizarla desde arriba, o sea, desde el borde superior, enfrentando las diagonales contiguas y fijar las piezas mediante clavos de 3 1/2". Las diagonales se ubican en la plataforma, de preferencia en el perímetro, permitiendo asegurar una buena transmisión de las acciones horizontales (**Ver Figura 15**).

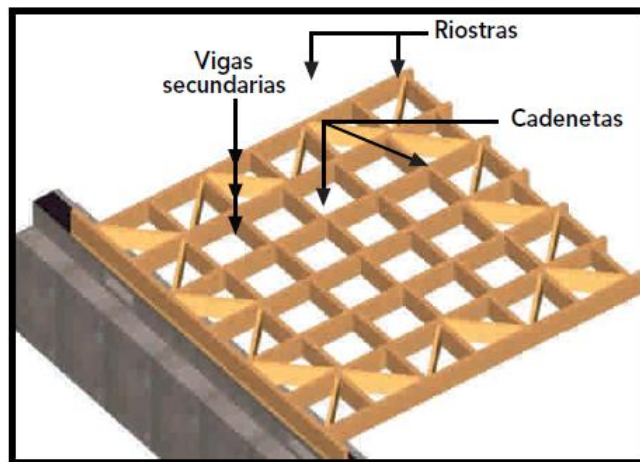


Figura 15: Riostras en el perímetro de la plataforma
Fuente: Corporación Chilena de la madera.

b) Zuncho metálico

Cinta de acero galvanizado que se fija a cada viga en forma diagonal en ambos sentidos, sobre el entramado, efectuando el rebaje en espesor de aquella (2 a 3 mm); esto último, con el objeto de que el revestimiento se apoye en toda su extensión (**Ver Figura 16**).

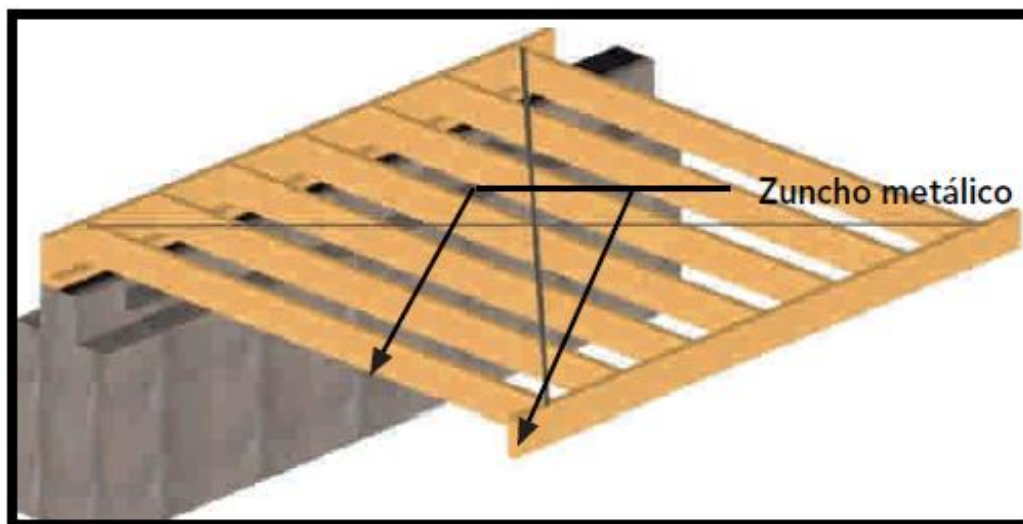


Figura 16: Zuncho metálico.
Fuente: Corporación Chilena de la madera.

c) Entablado diagonal

Se realiza clavando en forma diagonal (45°) el entablado a cada viga y cadeneta con dos clavos, equidistantes 5 veces el diámetro del clavo en el borde de cada tabla. El espesor y el ancho de las tablas dependerán del

distanciamiento de las vigas. Por ejemplo, para una separación de 40 cm entre vigas, se recomienda un espesor de 20 mm y un ancho máximo de tabla de 125mm. (**Corporación Chilena de la madera, 2011**)

La superficie obtenida sirve como base para el suelo definitivo y mejora la absorción acústica de los ruidos ambientales.

Es muy importante que la humedad de la madera del entablado esté en equilibrio con la humedad del medio ambiente, para prevenir posibles deformaciones que se transmitan al pavimento (**Ver Figura 17**).

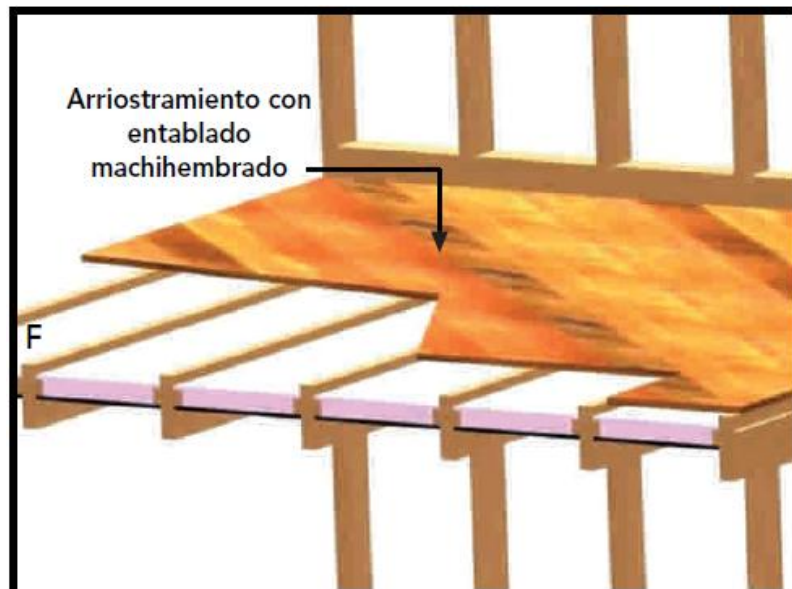


Figura 17: Plataforma de entepiso con entablado machihembrado.

Fuente: Corporación Chilena de la madera.

d) Tableros estructurales

Este nuevo sistema para arriostrar entramados se está aplicando mayoritariamente, dado que ofrece una serie de ventajas comparativas, fundamentalmente por la facilidad y rapidez de ejecución, con respecto a las soluciones anteriores. Se usa de herramientas como martillo neumático y taladro con extensión para atornillar resulta de gran efectividad.

Los tableros se colocan traslapados, evitando líneas continuas en ambos sentidos (**Ver Figura 18**).

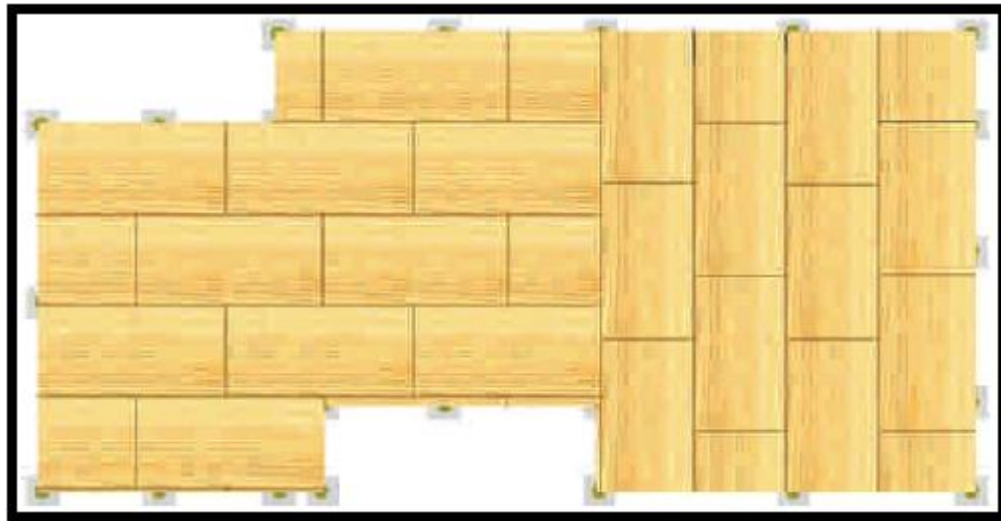


Figura 18: Tableros estructurales.

Fuente: Corporación Chilena de la madera.

Para disminuir la probabilidad de que los tableros emitan ruidos molestos o se suelten por vibraciones, se debe considerar la separación de 3 mm entre bordes contiguos (dilatación), la fijación mediante tornillos o la aplicación de adhesivo sintético y en otros casos sellos elásticos, o disponer de tableros estructurales con cantos machihembrados.

El espesor que se recomienda como base del entrepiso depende del distanciamiento de las vigas del entramado. Según los fabricantes consultados, se sugiere:.

Distancia entre vigas	Tablero contrachapado	Tablero O.S.B.
41 cm	15 mm	15,1 mm
51 cm	15 mm	15,1 mm
61 cm	18 mm	-

Tabla 1: Distancia entre vigas según espesores de tableros

3.3. RIGIDEZ DE LOS DIAFRAGMAS

Con la finalidad de determinar la rigidez que aportan los sistemas de piso compuestos, el SDI Diaphragm Design manual 3er Edition, presenta una metodología basada en formulas y en valores tabulados obtenidos



experimentalmente. Esta metodología ha sido adoptada por varios fabricantes a nivel mundial como es el caso de *Vulcraft* y *CMC Joist y Deck*. Cabe indicar, que para el caso de las placas colaborantes con relleno de hormigón, las tablas consideran un hormigón con $f'_c=20$ Mpa, y una capa de relleno de 50 mm para sistemas de piso compuestos, y 38 mm para sistemas de piso no compuestos.

Por otro lado, como línea fundamental de este trabajo, queda claro que la rigidez que caracteriza el comportamiento de los diafragmas de piso/cubierta se refiere a la rigidez al cortante. De ese modo, con la finalidad de cumplir con el objeto de esta tesis, se aplicará esta metodología, la misma que se explica a continuación.

3.3.1. Determinación de la rigidez.

3.3.1.1. Rigidez cíclica

La rigidez es el factor más básico y, sin embargo también el más útil de todas las variables determinadas para este estudio. En términos simples la rigidez es simplemente una medida de la capacidad de una estructura para resistir la deformación. Aunque la rigidez se puede expresar en varias formas diferentes, en general es la cantidad de fuerza requerida para provocar una unidad conocida de la deformación elástica. Por lo tanto, si un sistema es linealmente elástico, a continuación, su rigidez, k , puede ser descrito como la pendiente de la curva de fuerza-deformación como se ilustra en la Figura 19.

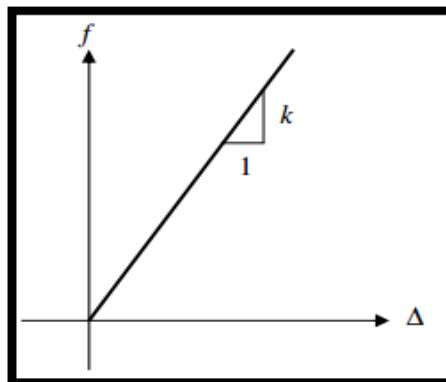


Figura 19: Rigidez de un sistema linealmente elástico.

Fuente: HORIZONTAL STIFFNESS OF WOOD DIAPHRAGMS.

La carga cíclica requiere un enfoque diferente para el cálculo de la rigidez. Cargas cíclicas cambian la trama de fuerza-deformación de una línea recta a un bucle elíptico conocida como una histéresis. Debido a la pendiente cambia a lo largo de la histéresis, la rigidez cíclica debe ser aproximada.

3.3.1.2. Deformación por corte

La deformación global es la suma de la deformación por cizallamiento del diafragma y la deformación de flexión como se ilustra en la Figura 20. Dado que la carga se aplica en el centro de las muestras de diafragma, entonces teóricamente la deformación por cizallamiento para cada mitad del diafragma son iguales. La deformación por corte del diafragma, se detalla visualmente en la Figura 21, se puede determinar a partir de una manipulación geométrica de los resultados de deflexión de los potenciómetros de cuerdas diagonales.

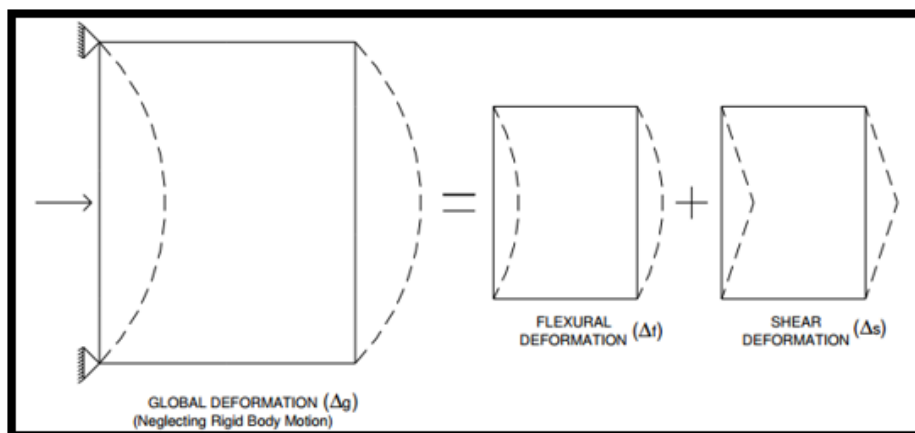


Figura 20: Teoría de deformación de un diafragma

Fuente: HORIZONTAL STIFFNESS OF WOOD DIAPHRAGMS.

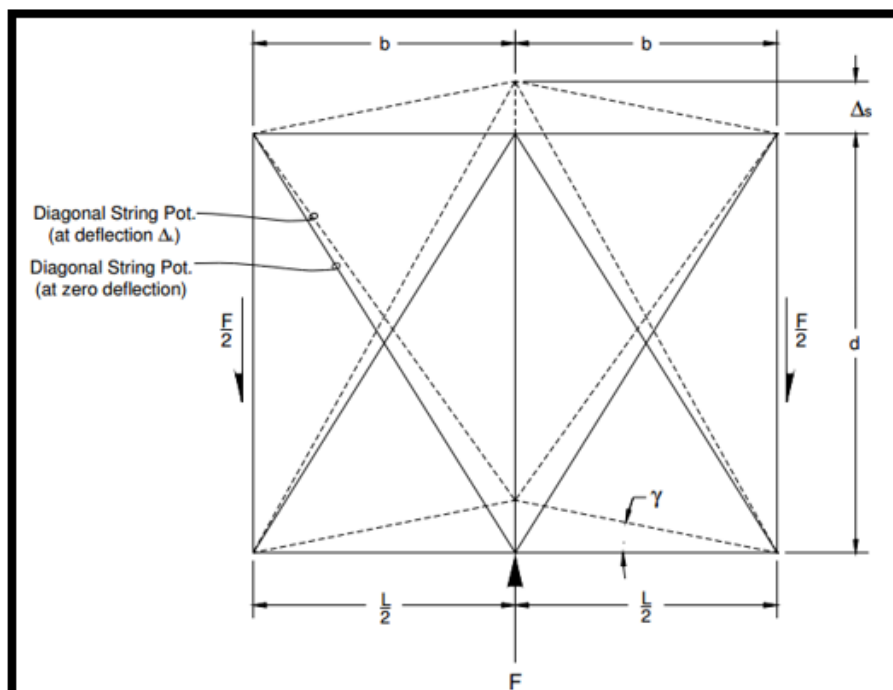


Figura 21: Deformación por corte.

Fuente: HORIZONTAL STIFFNESS OF WOOD DIAPHRAGMS.

En primer lugar, los valores máximos de deformación diagonales en cada dirección para cada mitad de la membrana se determinan promediaron, y obteniendo una deformación diagonal promedio, ΔL , para cada medio del diafragma, y por tanto la deformación positiva y negativa. Utilizando supuestos angulares pequeños, deformación de cizalla, Δ_s , se puede expresar como:

$$\Delta_s = \gamma \frac{L}{2}$$

3.4. COMPORTAMIENTO DE LOS DIAFRAGMAS FLEXIBLES

Para iniciar el estudio acerca del comportamiento de los diafragmas flexibles, partimos de la rigidez aportada al sistema por los diafragmas para de allí obtener el comportamiento del diafragma específico. Partiendo de estos valores, y aplicando el Método de la Rigidez y el de las flexibilidad se logra demostrar que los resultados obtenidos son similares.

En la **Figura 22** se presenta un isométrico que muestra a un diafragma flexible, sustentado por pórticos y conformado por paneles de relativa flexibilidad. De manera ilustrativa, se ha impuesto al diafragma una sollicitación de fuerzas laterales “w”, que puede ser provocado por la acción del viento o del sismo. Respecto a las variables “a1” y “a2”, éstas corresponden a la distancia inter pórtico; y por otro lado, “b” representa la anchura del diafragma.

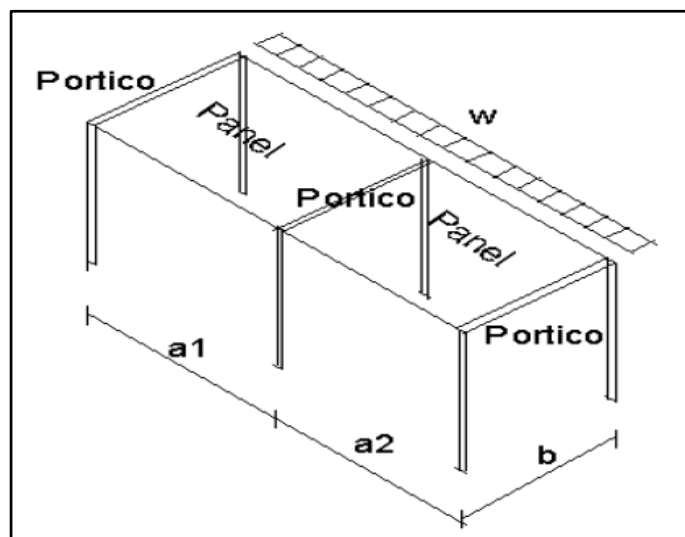


Figura 22.- Esquema general de un sistema estructural pórticos-paneles

Fuente: Corporación Chilena de la madera.

3.4.1. Hipótesis de comportamiento

Debido a las características geométricas de los diafragmas, los paneles que lo conforman pueden ser modelados como vigas pared, debido a que son muy peraltados respecto a la luz del elemento. **(Ver Figura 23).** **(Soler de la Cruz & Pino Velázquez, 2012)**

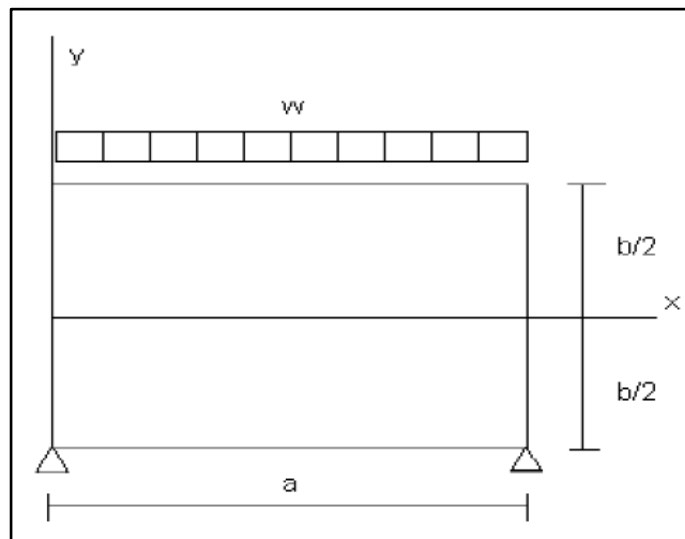


Figura 23.- Esquema del modelo planteado para el análisis de los diafragmas.

Fuente: Método de los desplazamientos en su enfoque matricial

Como se sabe, las vigas simples o de Bernoulli se comportan, con respecto a su desplazamiento, de acuerdo a la ecuación de la elástica, donde el dominio de la flexión (representada por el momento flector) es prácticamente total. Por lo tanto, esta tipología de vigas, responden a la siguiente ecuación diferencial **(ver expresión 3.3)**:

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{M(x)}{E \cdot I} \quad [3.3]$$

En donde,

- $M(x)$ es la Ley de variación del momento flector
- EI Rigidez a la flexión

Las vigas pared se ven dominadas por el cortante; por lo tanto, su relación diferencial con el desplazamiento se indica en la **expresión 3.4**:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{V(x)}{G \cdot A} \quad [3.4]$$



En donde,

- $V(x)$ es la Ley de variación del cortante
- GA Rigidez a la distorsión

Para el caso de análisis, la ecuación del cortante se presenta en la **expresión 3.5**:

$$V(x) = w \cdot \left(\frac{a}{2} - x \right) \quad [3.5]$$

Reemplazando la ecuación 3.5 en 3.4 e integrando, tenemos (**ver expresión 3.6**):

$$y(x) \cdot G \cdot A = \frac{w}{2} \cdot (ax - x^2) + C \quad [3.6]$$

En donde,

- C es la constante de integración

Para reemplazamos en la ecuación 3.6 $x=0$, entonces $y=0$, y por lo tanto, $c=0$, quedando finalmente como se indica en la **expresión 3.7**:

$$y(x) \cdot G \cdot A = \frac{w}{2} \cdot (ax - x^2) \quad [3.7]$$

Si reemplazamos en la ecuación 3.7 por $x=a/2$, obtenemos entonces, la ecuación determinar la deflexión en el punto medio del vano. (**Ver expresión 3.8**).

$$y\left(\frac{a}{2}\right) = \frac{w \cdot a^2}{8 \cdot G \cdot A} \quad [3.8]$$

Normalmente, la rigidez al cortante GA se expresa como $G'b$, por lo tanto tenemos (**expresión 3.9**):

$$y\left(\frac{a}{2}\right) = \frac{w \cdot a^2}{8 \cdot G' \cdot b} \quad [3.9]$$

Como podemos ver, la ecuación 3.9 es idéntica a la ecuación 3.2 obtenida del manual de Vulcraft.



Universidad de Cuenca

Específicamente, cuando se trata de un voladizo con una carga concentrada en su extremo, aplicando un proceso de deducción idéntico al anterior, tenemos (**expresión 3.10**):

$$y(a) = \frac{P \cdot a}{G' \cdot b} \quad [3.10]$$



CAPITULO 4: MÉTODO DE ANÁLISIS

4.1. INTRODUCCIÓN

Como se indicó en 2.3.4: “La resistencia y rigidez de los diafragmas de madera dependerá principalmente de la separación de las conexiones “

Existen métodos que permiten demostrar la rigidez de los diafragmas, sin embargo tienen un grado de complejidad bastante alto.

De acuerdo al simple postulado de que la resistencia y rigidez de los diafragmas está directamente relacionada con la correcta disposición de los clavos, entonces se puede sugerir un modo para averiguar su comportamiento:

Realizar su diseño, y una vez obtenido este proceder a su posterior análisis, es decir, un procedimiento inverso a lo convencional.

Si en el análisis se concluye que el diafragma no se comporta como rígido, entonces se mejorará su diseño, y si se concluye lo contrario, se procederá a su respectiva construcción.

4.2. Ecuación de la deflexión del Código Internacional de la Edificación

2006

Se sabe que la rigidez es la máxima resistencia a ser deformado que un elemento estructural puede ofrecer. Como un diafragma está sometido a cargas cortantes, para que sea considerado como rígido, su deformación tiene que ser lo más mínima posible.

En una estructura se conoce como “deriva” al máximo desplazamiento horizontal que esta puede experimentar debido a la acción de un sismo, entonces, la deformación del diafragma tiene que ir a la par con la deriva de la estructura, que tiene que cumplir con un cierto límite. Si esta deformación es menor o igual a dicho límite, puede considerarse al diafragma como “rígido”.

El Código Internacional de la Edificación 2006, proporciona una expresión matemática que permite determinar la máxima deflexión de un diafragma sometido a cargas laterales, ya sea de sismo o viento.



Dicha ecuación para el SI es la siguiente:

$$\Delta = \frac{0,052VL^3}{EAb} + \frac{VL}{4Gt} + \frac{L \cdot e_n}{162,7} + \frac{\sum(\Delta X, Y)}{2b} \quad (\text{Ecuación 23-1 CIE 2006})$$

Dónde:

A: Área de la sección transversal del miembro del entramado en cm².

b : Ancho del diafragma, en cm.

E: Módulo elástico del miembro del entramado en (Kg/cm²)

e_n : Deformación del clavo o grampa en cm

Gt : Rigidez del panel a través del espesor, Kg/cm.

L: Longitud del diafragma en cm.

V: Corte máximo debido a las cargas de diseño en la dirección considerada (Kg/m)

Δ: Deflexión calculada (cm.)

Σ(ΔX,Y) : Suma de los valores de penetración del clavo en el entramado a ambos lados del diafragma, cada uno multiplicado por su distancia al apoyo más cercano. (Código Internacional de la Edificación 2006, página 477)

De acuerdo con el NEC 11, la máxima deriva permisible para estructuras de hormigón armado, acero y madera es igual a 2 cm, por lo que la deflexión obtenida mediante 23 – 1, debe ser menor o igual a 2 cm.

4.3. Ejemplo de Diseño y Análisis

Para el ejemplo se tomará como modelo una estructura de 2,7 m cada piso destinado a vivienda, en los dos gráficos se muestra la representación física de la estructura:

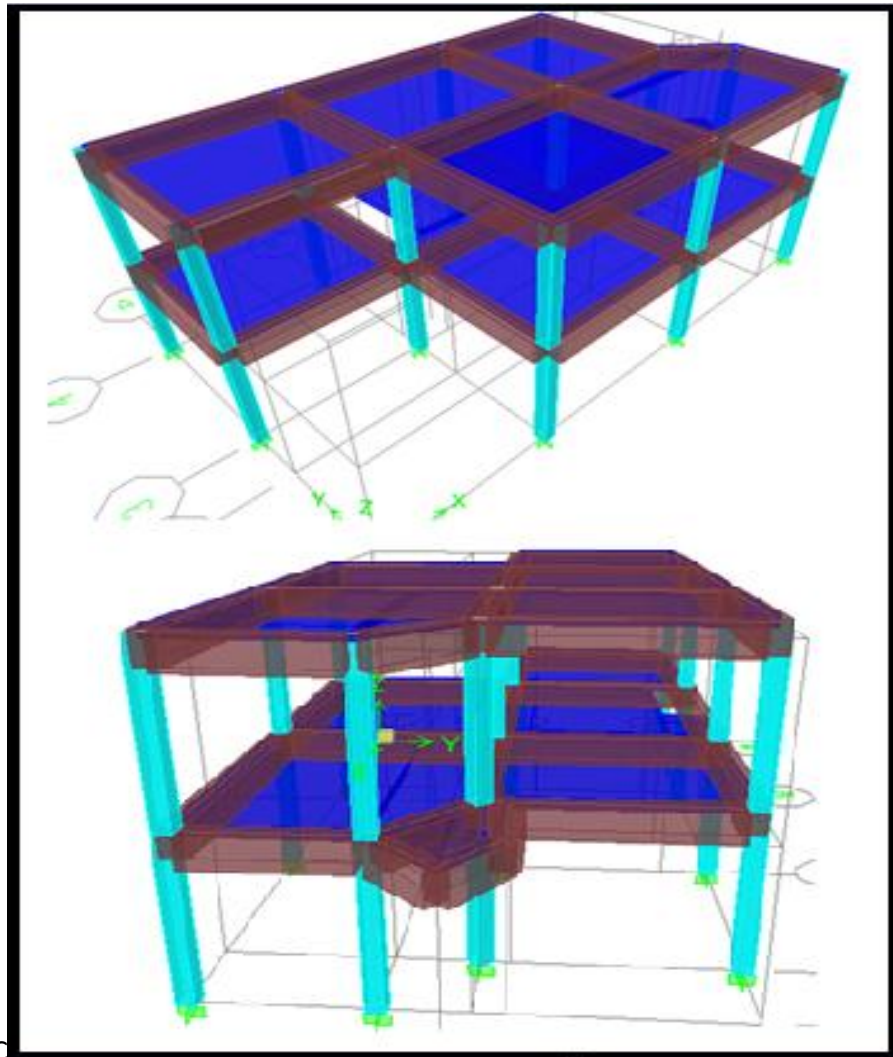


Figura 24: Modelo de la estructura del ejemplo

En el bosquejo siguiente se representa la planta de la estructura en la que se construirán los paneles:

← Sx					↑ Sy
PANEL 1	PANEL 2	PANEL 3	PANEL 4	PANEL 5	
14,06 m ²	14,80 m ²	12,25 m ²	13,80 m ²	15,15 m ²	
SX	SX	SX	SY	SY	

Tabla 2: Distribución de paneles.

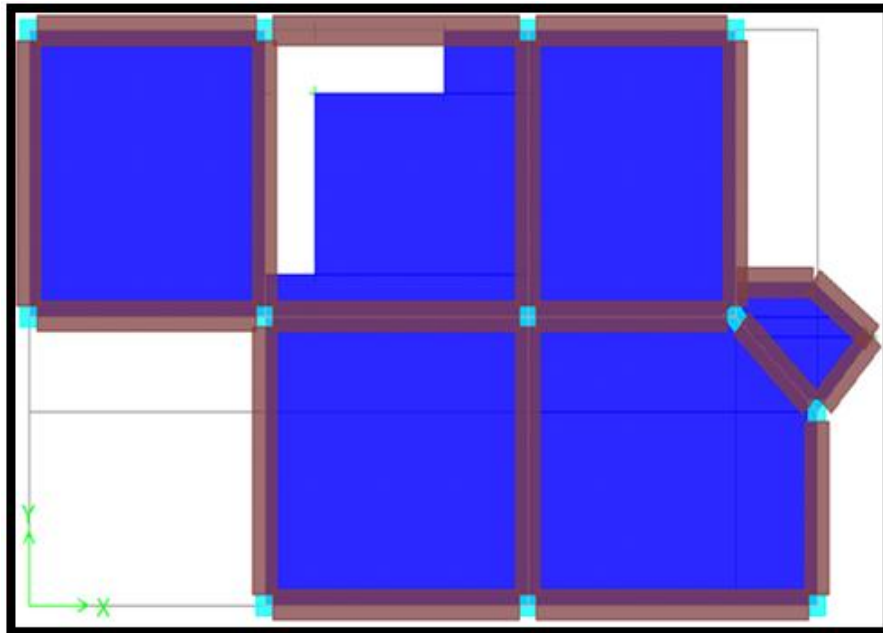


Figura 25: Representación en planta del modelo.

4.3.1. Determinación de la carga de Cortante basal:

De acuerdo con el NEC 11:

$$V = \frac{Z * I * C}{R * \phi * P * \phi E} * W$$

Dónde:

V: Cortante basal actuante sobre la estructura, expresada en toneladas (T).

Z: Factor de zona sísmica.

I: Factor de importancia de la estructura. (Tabla 2.9 NEC11)

C: Coeficiente de respuesta del suelo, expresado: $C = \frac{1,25 * S^S}{T}$

Siendo *S*: Coeficiente de suelo, de acuerdo con la tabla 2 del NEC 11

T: Período de vibración de la estructura, expresado: $T = Ct * hn^{3/4}$

Siendo *Ct*: Coeficiente de acuerdo con el tipo de estructura.

hn : máxima altura desplazable de la estructura.

R: Factor de reducción de respuesta estructural de acuerdo al tipo de uso de la estructura.



Universidad de Cuenca

ϕP : Coeficiente de configuración estructural en planta.

ϕE : Coeficiente de configuración estructural en elevación

W : Peso aproximado de la estructura.

Entonces para nuestro caso:

$Z = 0,3$, por que la estructura estará ubicada en la ciudad de Cuenca en donde de acuerdo con el mapa sismológico del Ecuador, esta se encuentra en la zona de riesgo sísmico tipo II, en donde el valor de Z es el adoptado.

$I = 1$: La estructura corresponde a una vivienda, entonces de acuerdo con la tabla 3 del NEC 11 se toma este valor.

$S = 1,2$: Se asume que la estructura se encuentra ubicada en una zona en donde el suelo es de tipo intermedio.

$C_t = 0,0488$: De acuerdo con NEC 11 para estructuras diferentes de hormigón y acero (en este caso madera).

$h_n = 5,4$ (m) $\rightarrow T = 0,173$ (s)

$C = 9$, pero en la tabla 2 del NEC 11, para suelos intermedios, el valor de "Ca" = 3, por lo que $C = 3$

$R = 7$. De acuerdo a la tabla 6 del NEC 11 para estructuras de madera.

$\Phi_p = 0,9$, debido a que presenta discontinuidad en el sistema de piso.

$\Phi_e = 1,0$, la estructura tiene elevación de tipo regular.

Para determinar el peso de la estructura, en las estructuras de madera se considera como cargas muertas a la carga viva de aplicación continua, entonces, para esta estructura se asignará un valor de $q_m = 200$ Kg/m².

El área de ocupación de la estructura es de $140,82\text{m}^2$, entonces:

$$W = 200 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2} * \frac{1 \text{ T}}{1000 \text{ Kg}} * 140,82\text{m}^2 * 2 \text{ pisos} = 28,16 \text{ (T)}$$

$$\rightarrow V = 4,02 \text{ (T)}$$

Una vez obtenida la carga de cortante basal, se procede a repartirla en ambos pisos:



CORTANTE BASAL (T)	NIVEL (m)	C.basal*Nivel (T.m)	Cortante basal*Nivel/ Σ (c.basal*nive l) (T)
4,02	2,7	10,854	1,34
4,02	5,4	21,708	2,68
Σ (c.basal*nivel)		35,562	4,02

Tabla 3: Cálculo de sub-cortantes basales

4.3.2. Configuración estructural en los respectivos paneles

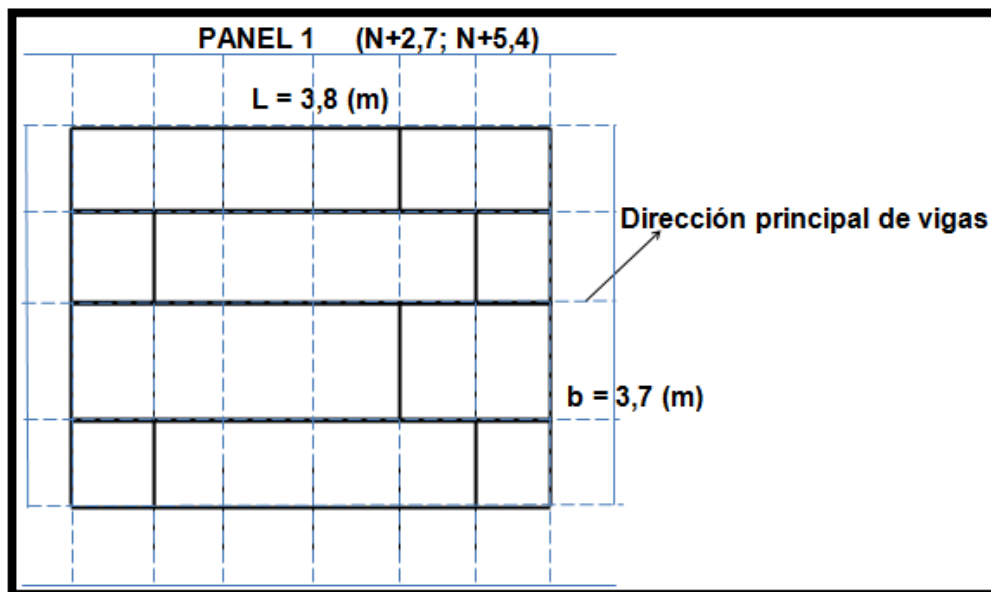


Figura 26: Configuración estructural panel n.- 01

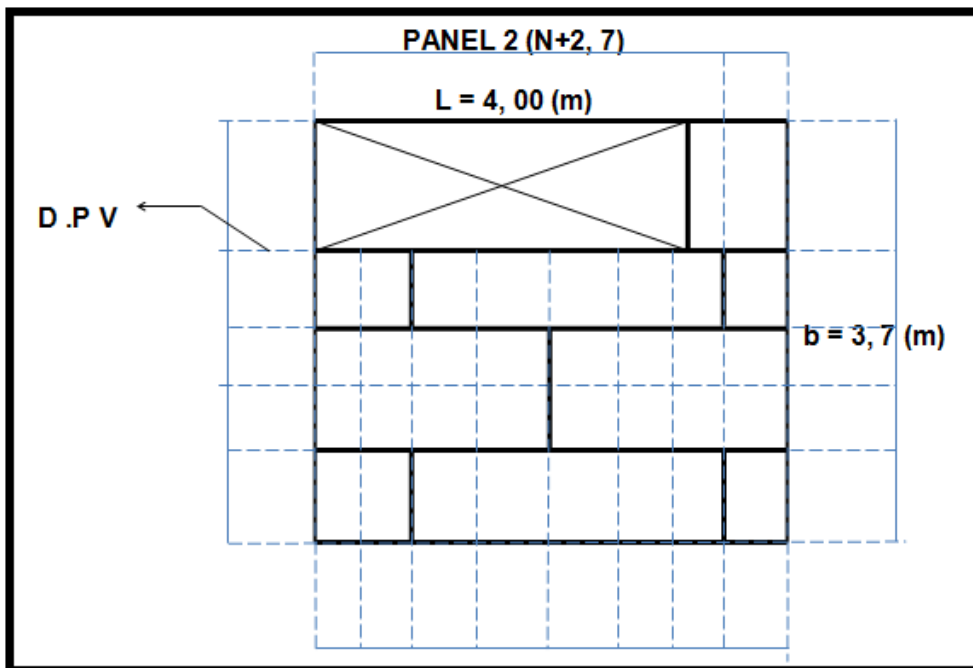


Figura 27: Configuración estructural de panel n.- 02

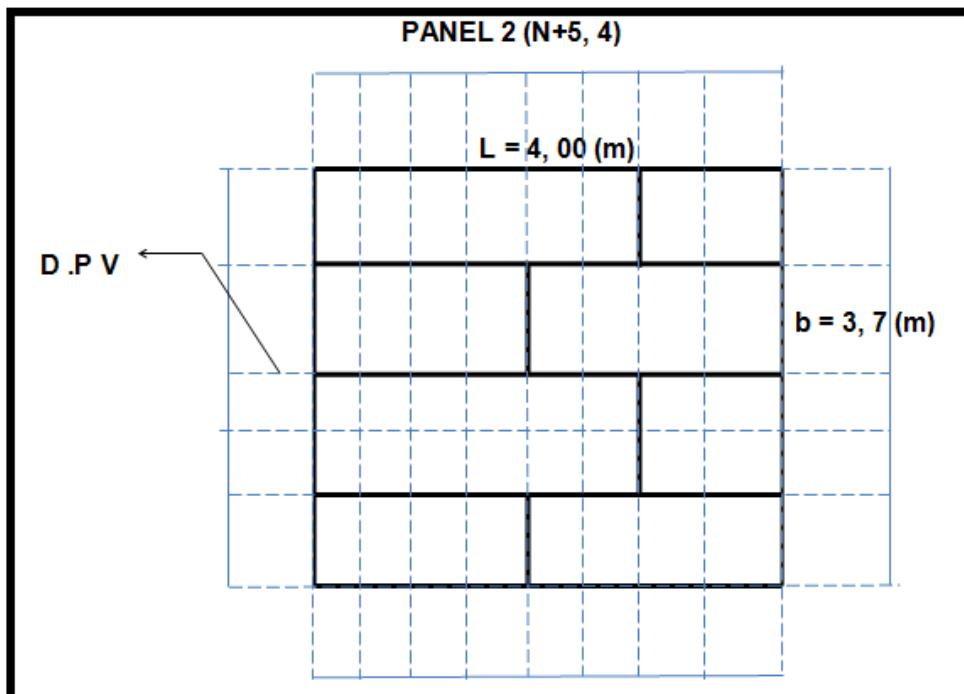


Figura 28: Configuración estructural de panel n.- 02

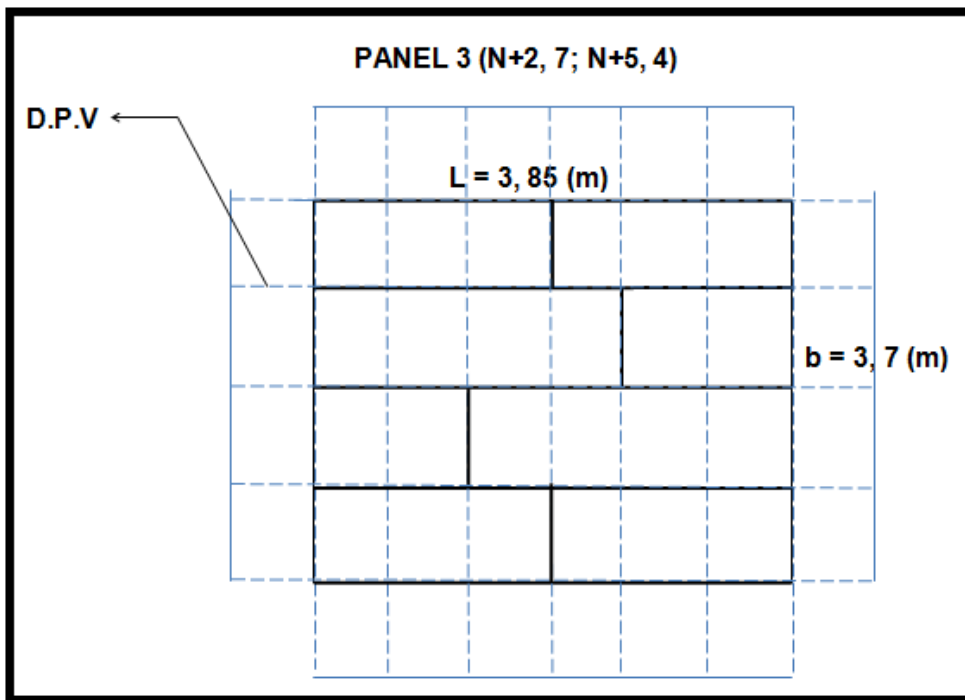


Figura 29: Configuración estructural de panel n.- 03

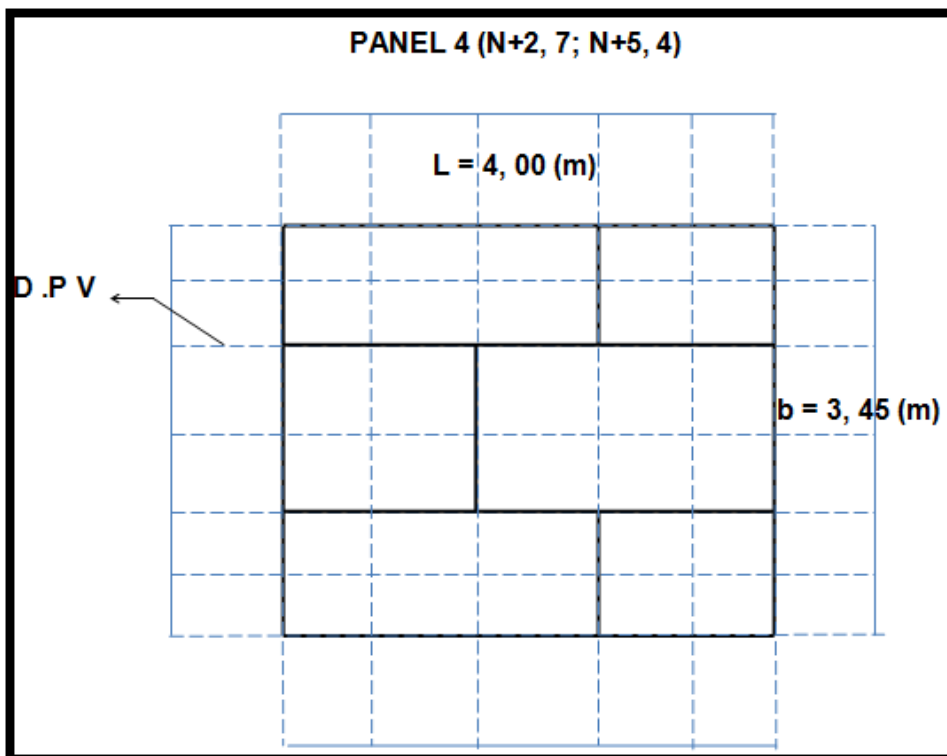


Figura 30: Configuración estructural de panel n.- 04

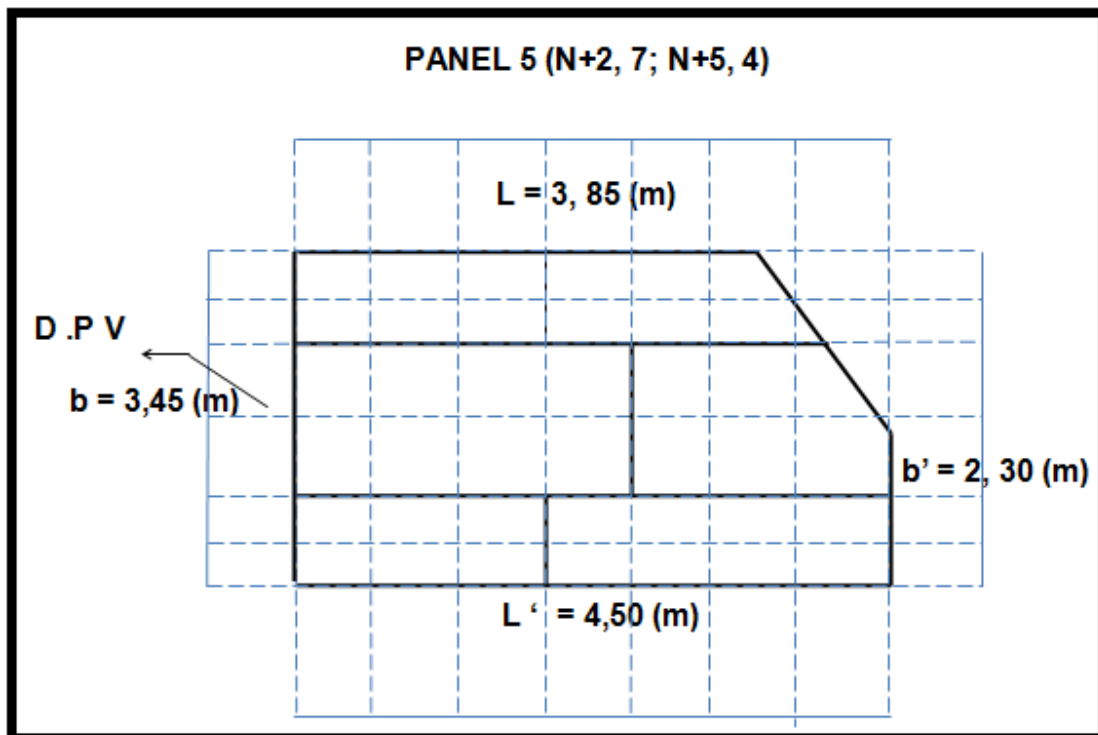


Figura 31: Configuración estructural de panel n.- 05

4.3.3. Cálculo de Diafragmas

En este proceso se tomarán en cuenta los siguientes aspectos principales:

*La estructura de los diafragmas estará constituida de madera correspondiente al Grupo “A”, tanto en los paneles como en los entramados.

*Para el cálculo, se trabajará con la tabla 2306.3.1 del Código Internacional de la Edificación 2006.

*Se observa que la tabla 2306.3.1 CIE 2006 es aplicable para “entramados de abeto Alerce –Douglas o Pino del sur”.

*En la primera parte inferior de la tabla 2306.3.1 CIE 2006 se encuentra anotada la siguiente observación:

“Para entramados de otras especies, determínese el grupo de las especies de la madera aserrada a partir de AFPA National Design Specification. Luego procédase como sigue: encuéntrese el valor del cortante a partir de la tabla de arriba (tabla 2306.3.1) para el tamaño de clavo para paneles estructural I, sin tener en cuenta el grado real. Multiplíquese este valor por 0,82 para madera



aserrada del grupo III o por 0,65 para maderas del grupo IV”: (Manual Integral para Diseño y construcción, Tomo 2, Páginas 10.52, 10.53).

Entonces, para poder utilizar la tabla siguiendo la norma señalada se procede del siguiente modo:

1.- Se recurre a la tabla 10,4 (Manual Integral de Diseño y construcción, quinta edición Tomo 2, Página 10.8), y se ubica a las especies “Alerce Douglas “ y “Pino del Sur”.

2.- Se compara los valores de sus respectivas densidades relativas, en base al peso seco al horno y el volumen a un contenido de humedad del 12% con respecto a la especie del Grupo A (Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino . 1984), pudiéndose observar que estos se encuentran entre y por debajo de los valores de la densidad relativa correspondiente a las maderas del Grupo C (el mayor valor para maderas “Abeto Douglas” es igual a 0,48, para maderas “Alerce” a 0,44, y para “Pinos del Sur de hoja larga” a 0,58 - Grupo B de M.G:A -). Se sigue consultando en la tabla alguna especie de madera que tenga una densidad relativa aproximada que se encuentre dentro del rango de valores correspondiente al Grupo A (0,71 – 0,90), llegándose a ubicar a la especie “Nogal tipo Shagbark” (densidad relativa igual a 0,72). Entonces de acuerdo a la norma de utilización de la tabla 2306.3.1 CIE 2006, se puede ubicar a esta especie dentro del Grupo III (AFPA), análoga al Grupo A de M.G.A y por lo tanto se multiplicará por “0,82” al valor del límite superior de la carga cortante por unidad de longitud en donde pueda ubicarse al valor calculado.

3.- Se procede de este modo en todos y cada uno de los paneles en los distintos niveles.

Es importante mencionar que los valores de la tabla 2306.3.1 CIE 2006 están en unidades del Sistema Inglés, por lo tanto es necesario hacer en forma cuidadosa las conversiones de unidades respectivas.

*Los paneles se dimensionaron de acuerdo a la tabla 2305.2.3 y el artículo 2305.2.4 del CIE 2006 (Página 478).

*La tabla 2306.3.1 CIE 2006 presenta seis casos diferentes de configuración estructural de los paneles con sus respectivos entramados. Debido a ello se procuró, que a más del cumplimiento de lo anterior, los tablones se dispongan



de manera que en todos y cada uno de los paneles y niveles se pueda trabajar empleando el menor número de casos posible: “1” en el eje “Y” y “3” en el eje “X”.

*La configuración de los entramados se dispondrá de un modo tal, que las placas en conjunto le den al diafragma la clasificación de elemento “bloqueado”, quiere decir que todos los tablones que lo conforman estén clavados en ambas direcciones, incrementando de este modo su rigidez ante las cargas cortantes a las que estará sometido.

4.3.3.1. Aplicación del Cálculo de Diafragmas en el modelo de ejemplo.

Una vez explicados los más importantes aspectos a tomarse en cuenta, se escogerán como ejemplo de cálculo dos paneles: El panel “2” en el nivel N+2,7 y el panel “5” en el nivel N+5,4. Se los eligió debido más que nada a su geometría irregular: El panel “2” en el nivel N+2,7 se encuentra ubicado en el acceso a las gradas y el panel “5” en el nivel N+5,4 tiene una geometría pentagonal irregular, además de que en la planta más alta la carga cortante actúa con una mayor intensidad, como se pudo ver en el cálculo 4.2.1 (Continúa en la página N.- 61)

**TABLA 2305.2.3
MÁXIMA RELACIÓN DE DIMENSIONES DE DIAFRAGMA
DIAFRAGMAS HORIZONTALES E INCLINADOS**

TIPO	MÁXIMA RELACIÓN LONGITUD-ANCHO
Panel estructural de madera, todos los cantos clavados	4:1
Panel estructural de madera, trabas omitidas en las juntas intermedias	3:1
Entablado diagonal, individual	3:1
Entablado diagonal, doble	4:1

Tabla 4: Máxima relación de dimensiones de diafragmas (Tabla 2305.2.3 CIE. 20



TABLA 2306.3.1
CORTE ADMISIBLE (LIBRAS POR PIE) PARA DIAFRAGMAS DE PANELES ESTRUCTURALES DE MADERA CON ENTRAMADO DE ABETO-ALERCE DOUGLAS,
O PINO DEL SUR^a PARA CARGA DE VIENTO O SÍSMICA^b

GRADO DEL PANEL	TAMAÑO DE CLAVO COMÚN O LONGITUD Y CALIBRE DE GRAMPA ¹	PENETRACIÓN DE ANCLAJE MÍNIMA EN ENTRAMADO (pulgadas)	ESPESOR NOMINAL MÍNIMO DE PANEL (pulgadas)	ANCHO NOMINAL MÍNIMO DE ELEMENTO DE ENTRAMADO EN LÍMITES Y CANTOS DEL PANEL ADJUNTO ⁹ (pulgadas)	DIAFRAGMAS TRABADOS				DIAFRAGMAS NO TRABADOS			
					Espaciamiento de anclajes (pulgadas) en los límites del diafragma (todos los casos) en los cantos de paneles continuos paralelos a la carga (Casos 3, 4), y en todos los cantos del panel (Casos 5 y 6) ⁹				Anclajes espaciados 6" máximo en canto apoyados ⁹			
					6	4	2 1/2 ⁴	2 ⁴	Caso 1 (Ningún canto no trabado o juntas continuas paralelas a la carga)	Todas las otras configuraciones (Casos 2, 3, 4, 5 y 6)		
					Espaciamiento de anclajes (pulgadas) en otros cantos del panel (Casos 1, 2, 3 y 4) ⁹							
					6	6	4	3				
Grados Estructural I	6d ⁸ (2" x 0.113")	1 1/4	5/16	2	185	250	375	420	165	125		
				3	210	280	420	475	185	140		
				1 1/2 calibre 16	1	2	155	205	310	350	135	105
						3	175	230	345	390	155	115
	8d (2 1/2" x 0.131")	1 3/8	3/8	2	270	360	530	600	240	180		
				3	300	400	600	675	265	200		
				1 1/2 calibre 16	1	2	175	235	350	400	155	115
						3	200	265	395	450	175	130
	10d ⁴ (3" x 0.148")	1 1/2	15/32	2	320	425	640	730	285	215		
				3	360	480	720	820	320	240		
				1 1/2 calibre 16	1	2	175	235	350	400	155	120
						3	200	265	395	450	175	130
Entablado, piso simple y otros grados cubiertos en DOC PS 1 y PS 2	6d ⁸ (2" x 0.113")	1 1/4	5/16	2	170	225	335	380	150	110		
				3	190	250	380	430	170	125		
				1 1/2 calibre 16	1	2	140	185	275	315	125	90
						3	155	205	310	350	140	105
	6d ⁸ (2" x 0.113")	1 1/4	3/8	2	185	250	375	420	165	125		
				3	210	280	420	475	185	140		
				8d (2 1/2" x 0.131")	1 3/8	2	240	320	480	545	215	160
						3	270	360	540	610	240	180

Tabla 5: Corte admisible para diafragmas estructurales de madera (Tabla 2306 3-1 CIE. 2006).



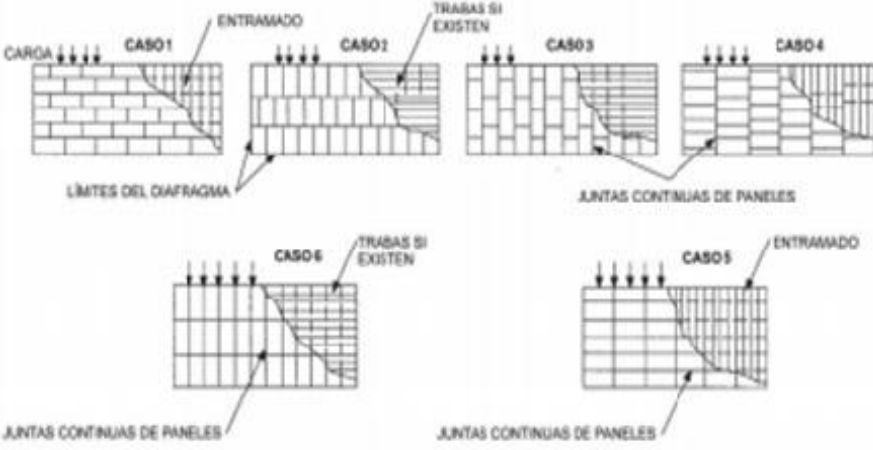
Universidad de Cuenca

TABLE 2306.3.1—continuación
CORTE ADMISIBLE (LIBRAS POR PIE) PARA DIAFRAGMAS DE PANELES ESTRUCTURALES DE MADERA CON ENTRAMADO DE ABETO-ALERCE DOUGLAS,
O PINO DEL SUR^a PARA CARGA DE VIENTO O SÍSMICA^b

GRADO DEL PANEL	TAMAÑO DE CLAVO COMÚN O LONGITUD Y CALIBRE DE GRAMPA ^f	PENETRACIÓN DE ANCLAJE MÍNIMA EN ENTRAMADO (pulgadas)	ESPESOR NOMINAL MÍNIMO DE PANEL (pulgadas)	ANCHO NOMINAL MÍNIMO DE ELEMENTO DE ENTRAMADO EN LÍMITES Y CANTOS DEL PANEL ADJUNTO ^g (pulgadas)	DIAFRAGMAS TRABADOS				DIAFRAGMAS NO TRABADOS	
					Espaciamiento de anclajes (pulgadas) en los límites del diafragma (todos los casos) en los cantos de paneles continuos paralelos a la carga (Casos 3, 4), y en todos los cantos del panel (Casos 5 y 6) ^h				Anclajes espaciados 6" máximo en canto apoyados ^b	
					6	4	2 ½ ^e	2 ^d	Caso 1 (Ningún canto no trabado o juntas continuas paralelas a la carga)	Todas las otras configuraciones (Casos 2, 3, 4, 5 y 6)
					Espaciamiento de anclajes (pulgadas) en otros cantos del panel (Casos 1, 2, 3 y 4) ^h					
					6	6	4	3		
Entablado, piso simple y otros grados cubiertos en DOC PS 1 y PS 2 (continúa)	1½ calibre 16	1	¾	2	160	210	315	360	140	105
				3	180	235	355	400	160	120
	8d (2½" x 0.131")	1 ⅜	7/16	2	255	340	505	575	230	170
				3	285	380	570	645	255	190
	1½ calibre 16	1		2	165	225	335	380	150	110
				3	190	250	375	425	165	125
	8d (2½" x 0.131")	1 ⅜	1½	2	270	360	530	600	240	180
				3	300	400	600	675	265	200
	10d ^d (3" x 0.148")	1 ½		2	290	385	575	655	255	190
				3	325	430	650	735	290	215
	1½ calibre 16	1		2	160	210	315	360	140	105
				3	180	235	355	405	160	120
	10d ^d (3" x 0.148")	1 ½	1¾	2	320	425	640	730	285	215
				3	360	480	720	820	320	240
	1¾ calibre 16	1		2	175	235	350	400	155	115
				3	200	265	395	450	175	130

Tabla 6: Corte admisible para diafragmas estructurales de madera, continuación (Tabla 2306 3-1 CIE. 2006).

TABLA 2306.3.1—continuación
CORTE ADMISIBLE (LIBRAS POR PIE) PARA DIAFRAGMAS DE PANELES ESTRUCTURALES DE MADERA CON
ENTRAMADO DE ABETO-ALERCE DOUGLAS, O PINO DEL SUR^a PARA CARGA DE VIENTO O SÍSMICA^a



Para SI: 1 pulgada = 25.4 mm, 1 libra por pie = 14.5939 N/m.

- Para entramados de otras especies: (1) Halle la gravedad específica para la especie de madera en la AF&PA NDS, (2) Para las grampas halle el valor de corte de la tabla de arriba para los paneles Estructural I (sin tener en cuenta el grado real) y multiplique el valor por 0.82 para especies con gravedad específica de 0.42 ó mayor, ó 0.65 para todas las otras especies, (3) Para los clavos halle el valor de corte de la tabla de arriba para el tamaño de clavo para el grado real y multiplique el valor por el siguiente factor de ajuste: el Factor de Ajuste de Gravedad Específica = $[1 - (0.5 \cdot SG)]$, donde SG = Gravedad Específica de la madera del entramado. Este factor de ajuste no debe ser mayor que 1.
- El máximo espaciamiento de anclajes es 12 pulgadas entre centros a lo largo de los elementos del entramado intermedios (6 pulgadas entre centros cuando los apoyos están espaciados 48 pulgadas en centros).
- El entramado en los cantos de paneles contiguos debe ser de 3 pulgadas nominales o más ancho, y los clavos deben estar alternados donde se coloquen espaciados 2 pulgadas entre centros ó $2 \frac{1}{2}$ pulgadas entre centros.
- El entramado en los cantos de paneles contiguos debe ser de 3 pulgadas nominales o más ancho, y deben alternarse los clavos donde se reúnan ambas condiciones siguientes: (1) clavos 10d que tienen una penetración en la estructura de más de $1 \frac{1}{2}$ pulgadas y (2) los clavos se colocan espaciados 3 pulgadas entre centros o menos.
- Se recomienda 8d como mínimo para los techados debido a la presión negativa de vientos fuertes.
- Las grampas deben tener un ancho de corona mínimo de $\frac{1}{4}$ de pulgada y deben ser instaladas con sus coronas paralelas a la dimensión larga de los elementos de entramado.
- El ancho nominal mínimo de elementos de entramado no ubicados en los límites o cantos del panel adjunto debe ser de 2 pulgadas.
- Para cargas de corte de duración de carga normal o permanente definidas por la AF&PA NDS, los valores en la tabla de arriba deben ser multiplicados por 0.63 ó 0.56, respectivamente.

Tabla 7: Corte admisible para diafragmas estructurales de madera, continuación (Tabla 2306 3-1 CIE. 2006).

Panel “2”

Nivel: N+2,7 (m.)

Sentido “X”:

Determinación de la Longitud Equivalente:

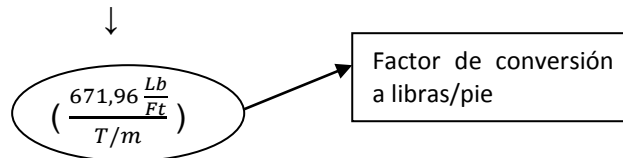
A P”2” = 11,5 (m^2) (área del Panel “2”)

$$\rightarrow \text{“X” equiv.} = \frac{A P \text{ “2”}}{\text{“Y” verdadera}} = \frac{11,5 m^2}{3,70 (m)} = 3,11(m)$$



Determinación de la Carga Cortante por unidad de longitud:

$$VX = \frac{1,34 \text{ T}}{3,11 \text{ (m)}} * \left(\frac{1000 \text{ (Kg)}}{1 \text{ (T)}} * \frac{1000 \text{ (gr)}}{1 \text{ (Kg)}} * \frac{1 \text{ (Lb)}}{453,6 \text{ (gr)}} * \frac{0,3048 \text{ (m)}}{1 \text{ (Ft)}} \right) = 289,53 \frac{\text{Lb}}{\text{Ft}}$$



Se transforma VX a unidades del sistema inglés por que como se explicó en 4.2.3 debido a que la tabla 2306.3.1 CIE 2006 está editada en dicho sistema.

4.3.3.1. Determinación del clavado y espesor del panel:

Una vez obtenida la carga cortante unitaria, se ingresa con este valor a la tabla 2306.3.1 CIE 2006 y se procede del siguiente modo:

1. Se ubica el grado de panel, que en este caso corresponde al grado estructural I.
2. Se observa a que caso corresponde: Como la carga cortante en el eje "X" actúa en dirección paralela a los contornos y a las juntas de los paneles continuos, corresponde al caso "3". Luego, como el diafragma es "bloqueado", nos ubicamos en el casillero correspondiente a esta categoría, buscamos el caso "3" y un valor que sea ligeramente mayor a $289,53 \frac{\text{Lb}}{\text{Ft}}$, en este caso $300 \frac{\text{Lb}}{\text{Ft}}$ pero como este ábaco es aplicable solo para maderas tipo "abeto Douglas, Alerce", o "pino del sur", entonces $300 \frac{\text{Lb}}{\text{Ft}}$ no es el valor real con el que se debe trabajar por que conforme a lo explicado en 4.2.3, se debe multiplicar la máxima carga cortante por 0,82 : $300 \frac{\text{Lb}}{\text{Ft}} * 0,82 = 246 \frac{\text{Lb}}{\text{Ft}} < 289,53 \frac{\text{Lb}}{\text{Ft}}$, entonces es necesario buscar otro valor : $360 \frac{\text{Lb}}{\text{Ft}}$, y $360 \frac{\text{Lb}}{\text{Ft}} * 0,82 = 295,2 \frac{\text{Lb}}{\text{Ft}} > 289,53 \frac{\text{Lb}}{\text{Ft}}$, por lo tanto se trabajará en la tabla 2306.3.1 CIE 2006 con el valor de $360 \frac{\text{Lb}}{\text{Ft}}$, no con el de $295,2 \frac{\text{Lb}}{\text{Ft}}$. Para $360 \frac{\text{Lb}}{\text{Ft}}$ se observa que corresponde un valor de espaciamiento de clavos igual a 4 pulgadas (10,2 cm.) en los contornos y las juntas de panel continuo. Para determinar el tipo de clavado correspondiente, se ubica en la tabla, a la izquierda del valor asignado donde se obtienen los siguientes valores: El tamaño del clavo (en este



Universidad de Cuenca

caso “8d”), la mínima penetración del clavo en los entramados (3,9 cm.), el espesor nominal mínimo del panel (1,0 cm) y el ancho nominal mínimo de los miembros del entramado (7,7 cm.)

Sentido “Y”: Caso: 1

Se procederá de manera análoga a la del ejemplo anterior:

$$\text{“Y” equiv.} = \frac{A P \text{ “2”}}{\text{“X” verdadera}} = \frac{11,5 \text{ m}^2}{4,00 \text{ (m)}} = 2,88 \text{ (m)}$$

$$\rightarrow VY = \frac{1,34 T}{2,88 \text{ (m)}} * 671,96 \frac{Lb/(Ft)}{T/(m)} = 312,65 \frac{Lb}{Ft}$$

$$\rightarrow V_{m\acute{a}x.} = 320 \frac{Lb}{Ft} \text{ (valor aparente)} \rightarrow 0,82 * 320 \frac{Lb}{Ft} = 262,4 \frac{Lb}{Ft} < 312,65 \frac{Lb}{Ft}$$

(No cumple)

$$\rightarrow V_{m\acute{a}x.} = 360 \frac{Lb}{Ft} \text{ (segundo valor aparente)} \rightarrow 0,82 * 360 \frac{Lb}{Ft} = 295,2 \frac{Lb}{Ft} < 312,65 \frac{Lb}{Ft}$$

$\frac{Lb}{Ft}$ (No cumple)

$$\rightarrow V_{m\acute{a}x.} = 400 \frac{Lb}{Ft} \text{ (tercer valor aparente)} \rightarrow 0,82 * 400 \frac{Lb}{Ft} = 328 \frac{Lb}{Ft} > 312,65 \frac{Lb}{Ft}$$

(Cumple)

$$\rightarrow \Delta y = 4 \text{ pulgadas (10,2 cm.) (En los contornos)}$$

$\Delta y = 6 \text{ pulgadas (15,3 cm.) (En las juntas de panel discontinuo paralelas a la carga)}$

Disposición de clavado:

- Tamaño de clavo: 8d
- Mínima penetración del clavo en los entramados: 3,9 (cm)
- Espesor nominal mínimo del panel: 1,0 (cm.)
- Ancho nominal mínimo de los miembros del entramado: 7,7 (cm.)



Panel “5”

Nivel: N+5,4 (m.)

Sentido “X”: Caso 3

A “P5” = 15,15 m² (área del panel “5”)

$$\rightarrow \text{“X” equiv.} = \frac{A P \text{ “5”}}{\text{“Y” verdadera}} = \frac{15,15 \text{ m}^2}{3,45 \text{ (m)}} = 4,39 \text{ (m)}$$

$$\rightarrow V_x = \frac{2,68 T}{4,39 \text{ (m)}} * 671,96 \frac{\text{Lb/(Ft)}}{T/(m)} = 410,22 \frac{\text{Lb}}{\text{Ft}}$$

$$\rightarrow V_{\text{máx.}} = 530 \frac{\text{Lb}}{\text{Ft}} \rightarrow 0,82 * 530 \frac{\text{Lb}}{\text{Ft}} = 434,6 \frac{\text{Lb}}{\text{Ft}} > 410,22 \frac{\text{Lb}}{\text{Ft}} \text{ (cumple)}$$

$\rightarrow \Delta_x = 2\frac{1}{2}$ pulgadas (6,35 cm) ‡ (En los contornos y juntas de panel continuo paralelos a la sub – cortante basal.)

Sentido “Y”: Caso 1

$$\rightarrow \text{“Y” equiv.} = \frac{A P \text{ “5”}}{\text{“X” verdadera}} = \frac{15,15 \text{ m}^2}{4,5 \text{ (m)}} = 3,37 \text{ (m.)}$$

$$\rightarrow V_y = \frac{2,68 T}{3,37 \text{ m}} * 671,96 \frac{\text{Lb/(Ft)}}{T/(m)} = 534,38 \frac{\text{Lb}}{\text{Ft}}$$

$$\rightarrow V_{\text{máx.}} = 720 \frac{\text{Lb}}{\text{Ft}} * 0,82 = 590,4 \frac{\text{Lb}}{\text{Ft}} > 534,38 \frac{\text{Lb}}{\text{Ft}} \text{ (cumple)}$$

$$\rightarrow \Delta_y = 2\frac{1}{2} \text{ pulgadas (6,35 cm) } \ddagger \text{ (En los contornos)}$$

$\Delta_y = 4$ pulgadas (10,2 cm.) (En las juntas de panel discontinuo paralelas a la carga)

‡: “Los entramados en las juntas de los paneles deben tener un ancho nominal mínimo de 3 pulgadas (7,62 cm.) y los clavos deben estar en disposición escalonada” (*Manual Integral para Diseño y construcción quinta edición, Tomo 2, página 10.53*)

Disposición de clavado:

- Tamaño de clavo: 10d&



- Mínima penetración del clavo en los entramados: 4,2 (cm)
- Espesor nominal mínimo del panel: 1,2 (cm.)
- Ancho nominal mínimo de los miembros del entramado: 7,7 (cm.)

Se procede de este modo en todos y en cada uno de los paneles. Se pueden tabular estos resultados en una tabla de cálculo como la que se representa en 4.2, pudiéndola también diseñar en una hoja electrónica EXCEL, lo que simplificará notablemente el trabajo a realizarse.

4.3.3.2. Diseño de los entramados.

El entramado, como se muestra en la figura 13, estará compuesto por vigas principales y vigas secundarias transversales.

Estos elementos se diseñarán a flexión y corte, aplicando la teoría elástica que considera al material como isotrópico y homogéneo y actúa dentro del comportamiento lineal.

Se comprobará la idoneidad de la sección diseñada en base a los siguientes esfuerzos admisibles para maderas del Grupo A:

$$f_{adm.} = 210 \frac{Kg}{cm^2} \text{ (flexión); } f_v = 15 \frac{Kg}{cm^2} \text{ (corte paralelo a la fibra)}$$

Dónde:

V.- Carga sub - cortante basal.

L.- Longitud en la que actúa la carga sub - cortante basal.

V. máx. .- Cortante máxima permisible de acuerdo a la tabla 2306.3.1 CIE 06.

$\Delta x/y$.- Distancia máxima de clavado (cm).

&: “Los entramados en las juntas de los paneles deben tener un ancho nominal mínimo de 3 pulgadas (7,62 cm.), y los clavos con una penetración en los entramados que exceda a $1\frac{5}{8}$ de pulgada (1,63 cm) y 3 pulgadas (7,7 cm) deberán escalonarse” (Manual Integral para Diseño y construcción quinta edición, Tomo 2, página 10.53)



NIVEL (m)	PANEL (m)	SENTIDO	CASO	V (T)	L (m)	V/L (Lb/Ft)	V.máx (Lb/Ft)	0,82*V.máx (Lb/Ft)	V/L<0,82*V.máx (Lb/Ft)	$\Delta x/y$ (cm.)	CLAVADO			
											a	b cm	c cm	d
+2,7	1	X	3	1,34	3,80	236,95	300	246,0	OK	15,3 (i)	8d	3,9	1,0	7,7
		Y	1		3,70	243,36				15,3 (ii)				
	2	X	3		4,00	289,53	360	295,2	OK	10,2 (i)				5,1
		Y	1		3,70	312,65				15,3 (ii)				
	3	X	3		3,85	233,88	300	246,0	OK	15,3 (i)				7,7
		Y	1		3,70	243,86				15,3 (ii)				
	4	X	3		4,00	225,11	280	229,6	OK	10,2 (i)	6d	3,2	0,8	7,7
		Y	1		3,45	260,99				15,3 (ii)				
	5	X	3		4,39	205,10	280	229,6	OK	10,2 (i)	6d	3,2	0,8	7,7
		Y	1		3,37	267,19				15,3 (ii)				
+5,4	1	X	3	2,68	3,80	474,00	600	492,0	OK	6,40 (i)	8d	3,9	1,0	7,7
		Y	1		3,70	486,72				6,40 (ii)				
	2	X	3		4,00	450,21				10,2 (i)				
		Y	1		3,70	486,72				6,40 (ii)				
	3	X	3		3,85	467,75				10,2 (i)				
		Y	1		3,70	486,72				6,40 (ii)				
	4	X	3		4,00	450,21				6,40 (i)				
		Y	1		3,45	521,99	640	524,8	OK	10,2 (ii)		10 d&	4,2	1,2
	5	X	3		4,39	410,22				6,40 (i)	8d	3,9	1,0	5,1
		Y	1		3,37	534,38	720	590,4	OK	10,2 (ii)				

Tabla 8: Tabla de cálculo de diafragmas

0,82.- Factor de reducción de carga para maderas Tipo A.

a.- Tipo de clavo

b.- Mínima profundidad de clavado (cm)

c.- Mínimo espesor del panel (cm)

d.- Mínimo ancho de viga del entramado (cm).

‡.- Clavado escalonado

&.- Clavos escalonados.

(i).- Espaciamiento de clavos en los contornos del diafragma y juntas Continúas del panel.

(ii).- Espaciamiento de clavos en juntas discontinuas del panel.



4.3.3.3. Diseño de Vigas de entramado

Vigas Panel “1” :

Dimensiones asumidas de la sección de la viga :

b = 9 (cm) ancho de la viga

h = 15 (cm) peralte de la viga.

Espaciamiento entre las vigas = 50 (cm)

L = 3,80 (m) Luz de la viga

Carga viva = 200 (Kg/m²)

Peso propio de la madera Tipo “A” : 1300 (Kg/m³)

→ Peso propio de la viga = 0,09*0,15 (m²) *1300 (Kg/m³) = 17,55 (Kg/m)

Peso por carga viva = 0,5 (m) *200 (Kg/m²) = 100 (Kg/m)

→ Carga Total actuante en la viga = 17,55 + 100 = 117,55 (Kg/m)

→ $\omega t = 117,55$ (Kg/m) (Carga de diseño)

→ $M.máx. = \frac{\omega t * L^2}{8} = \frac{117,55 \frac{Kg}{m} * 3,8^2 m^2}{8} = 212,178$ (Kg.m)

→ $M.máx. = 21217,8$ (Kg.cm) (Momento máximo)

→ $V.máx. = \frac{\omega t * L}{2} - (h) * \omega t = \frac{117,55 (\frac{Kg}{m}) * (3,8m)}{2} - (0,15m) (117,55 Kg/m)$

→ $V.máx = 204,66$ (Kg) (Corte máximo a una distancia del apoyo igual al peralte de la viga.)

$R = \frac{\omega t * L}{2} = \frac{(117,55 Kg/m)(3,8m)}{2} = 223,35$ (Kg.) (Reacción en el apoyo)

→ $S adm. = \frac{b * h^2}{6} = 337,5$ (cm³) (Módulo seccional admisible)

→ $S = \frac{M.máx.}{f.adm.} = \frac{21217, (Kg.cm)}{210 (Kg/cm^2)} = 101,03$ (cm³) < 525 (cm³) (cumple)

Determinación de la carga equivalente para comprobar las deflexiones :



Universidad de Cuenca

$$\omega \text{ equiv.} = (\omega \text{ muerta} * 1,8) + \text{sobrecarga} = (17,55 * 1,8) + 100 = 132,00(\text{Kg/m}) = 1,32(\text{Kg/cm})$$

→ Se determinan las deflexiones por acción de la carga total y la sobrecarga :

$$\rightarrow \Delta \text{ adm.} = \frac{L}{250} = \frac{380 \text{ (cm)}}{250} = 1,52 \text{ (cm)} \text{ (por acción de la carga total)}$$

$$\Delta \text{ adm.} = \frac{L}{350} = \frac{380 \text{ (cm)}}{350} = 1,09 \text{ (cm)} \text{ (por acción de la sobrecarga)}$$

$$\rightarrow \Delta \text{ adm.} = \frac{5}{384} \frac{\omega t * L^4}{EI} \quad (\text{Para vigas simples con carga uniforme})$$

$$\rightarrow I = \frac{5 * 1,32 \left(\frac{\text{Kg}}{\text{cm}} \right) * (380 \text{ cm})^4}{384 * 1,52 (\text{cm}) * (130000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3})} = 1813,68 \text{ cm}^4 \text{ (por acción de la carga total)}$$

$$\rightarrow I = \frac{b * h^3}{12} = 2531,25 \text{ (cm}^4) > 1813,68 \text{ (cm}^4) \text{ (cumple)}$$

$$I = \frac{5 * 1,00 \left(\frac{\text{Kg}}{\text{cm}} \right) * (380 \text{ cm})^4}{384 * 1,09 (\text{cm}) * (130000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3})} = 1916 \text{ cm}^4 \text{ (por acción de la sobrecarga)}$$

$$2531,25 \text{ (cm}^4) \gg 1916 \text{ (cm}^4) \text{ (cumple)}$$

Chequeo a corte :

$$\Gamma = \frac{3}{2} \frac{V}{bh} = \frac{3}{2} \frac{225,4 \text{ (Kg)}}{9 * 15 \text{ cm}^2} = 2,27 \text{ (Kg/cm}^2) \ll 15 \text{ (Kg/cm}^2) \text{ (cumple)}$$

Determinación de la longitud de apoyo :

$$a = \frac{R}{b * f_{cl}} = \frac{243,71 \text{ (Kg)}}{9(\text{cm}) * 40(\text{Kg/cm}^2)} = 0,761 \text{ (cm)} = 8 \text{ (mm)}$$

Chequeo de la estabilidad



Universidad de Cuenca

$$\frac{h}{b} = \frac{15 \text{ cm}}{9 \text{ cm}} = 1,66 < 2 \text{ (aceptable)}$$

Procediéndose de este modo en todos y cada uno de los paneles:

Vigas Panel "2" :	Vigas Panel "4" :
b = 9 (cm) ancho de la viga h = 15 (cm) peralte de la viga.	b = 9 (cm) ancho de la viga h = 15 (cm) peralte de la viga
Vigas Panel "3" :	Vigas Panel "5" :
b = 9 (cm) ancho de la viga h = 15 (cm) peralte de la viga	b = 15 (cm) ancho de la viga h = 15 (cm) peralte de la viga

Tabla 9: Dimensiones de los entramados de panel.

4.3.3.4. Chequeo de Deflexiones

Este paso es el mas importante debido a que de acuerdo a su resultado se determina el grado de rigidez del diafragma: Si se espera que trabaje como "rigido", su deflexión tiene que ser menor o igual a la mayor deriva permisible en el NEC 11 (2,0 cm para estructuras de hormigón, acero y madera).

Panel 1

N + 5,4 (m)

A = 135 (cm²) , b = 3,7 (m) , E = 130000 (Kg/cm²)

Sentido "X" :

$$\frac{\text{Longitud actuante de la sub- cortante basal}}{\text{Máxima distancia de clavado}}, \frac{X}{\Delta x} = \frac{380 \text{ (cm)}}{6,4 \text{ (cm)}} = 59,3 \text{ espacios}$$

= 61 anclajes (o clavos)

$$\rightarrow \text{como } 380 \text{ (cm)} = 12,47 \text{ (Ft)} \rightarrow \frac{61 \text{ anclajes}}{12,47 \text{ (Ft)}} = 4,89 = \frac{4 \text{ anclajes}}{\text{Ft}}$$



Universidad de Cuenca

→ De acuerdo con lo obtenido en la tabla 4.1 : $\frac{492 \text{ (Lb/Ft)}}{4 \text{ (anc./Ft)}} = 123 \text{ (Lb/anc.)}$

→ Con este valor se entra a la Tabla 2305.2.2(1) CIE 2006 y se localiza en la primera columna un valor que este próximo a 123 (Lb/anc.). Este valor se encuentra entre 120 y 140 (Lb/anc.) , por lo tanto para hallar la deformación de los anclajes o clavos correspondiente a 123 (Lb/anc.), es necesario hacer una interpolación entre estos dos valores , entonces :

→ Para 120 (Lb/anc), $e_n = 0,02$ pulg. (clavos 8d)

Para 140 (Lb/anc) , $e_n = 0,03$ pulg. (clavos 8d)

→ $140 - 120 = 20 \text{ (Lb/anc)}$, $123 - 120 = 3 \text{ (Lb/anc)}$

→ interpolando valores se tiene : $e_n = 0,02 + \frac{3}{20} (0,01) = 0,022 \text{ pulg.} = 0,056 \text{ cm.}$



TABLA 2305.2.2(1)
VALORES e_n (pulgadas) PARA USAR EN EL CÁLCULO DE LA
DEFLEXIÓN DEL DIAFRAGMA DEBIDA AL DESLIZAMIENTO DE
ANCLAJE (Estructural I)^{a,d}

CARGA POR ANCLAJE ^c (libras)	DESIGNACIONES DE ANCLAJES ^b			
	6d	8d	10d	Grampas 14-Ca x 2 pulgadas de longitud
60	0.01	0.00	0.00	0.011
80	0.02	0.01	0.01	0.018
100	0.03	0.01	0.01	0.028
120	0.04	0.02	0.01	0.04
140	0.06	0.03	0.02	0.053
160	0.10	0.04	0.02	0.068
180	—	0.05	0.03	—
200	—	0.07	0.47	—
220	—	0.09	0.06	—
240	—	—	0.07	—

Para SI: 1 pulgada = 25.4 mm, 1 pie = 304.8 mm, 1 libra = 4.448 N.

- Incrementa 20 por ciento los valores de e_n para grados de madera prensada que no sean Estructural I.
- Los valores de clavos se aplican a clavos de alambre común o grampas identificadas.
- Carga por anclaje = corte máximo por pie dividido por el número de anclajes por pie en los cantos de paneles interiores.
- Disminuya 50 por ciento los valores de e_n para madera de construcción estacionada (contenido de humedad < 19 por ciento).

Tabla 10: Valores para el cálculo de la deflexión del diagrama debido al deslizamiento de anclaje (Tabla 2305.2.2 (1) CIE. 2006).

Para obtener el valor de G_t (rigidez del panel a través del espesor), se consulta en la tabla 2305.2.2(2) CIE 2006. En la primera columna correspondiente a “Tipo de Panel”, se toma la opción correspondiente a “Piso Simple”, en la clasificación de vano (mayor separación entre vigas de entramado), como es igual a 50 (cm), entonces se elige la opción “20 oc”, y en el tipo de panel (“ESTRUCTURAL I”), la opción “Madera prensada de 4 hojas”, por lo tanto de acuerdo a las opciones referidas, $G_t = 47500$ (Lb/pulg), entonces, convirtiendo G_t del sistema Inglés al sistema Internacional :



TABLA 2305.2.2(2)
VALORES DE G_t PARA USAR EN EL CÁLCULO DE LA DEFLEXIÓN DE MUROS DE CORTE Y DIAFRAGMAS DE PANEL ESTRUCTURAL DE MADERA

TIPO DE PANEL	CLASIFICACIÓN DE VANO	VALORES DE G_t (lb./in. profundidad o ancho de panel)							
		OTRO				ESTRUCTURAL I			
		Madera Prensada de 3 hojas	Madera Prensada de 4 hojas	Madera Prensada de 5 hojas ^a	OSB	Madera Prensada de 3 hojas	Madera Prensada de 4 hojas	Madera Prensada de 5 hojas ^a	OSB
Revestimiento	24/0	25,000	32,500	37,500	77,500	32,500	42,500	41,500	77,500
	24/16	27,000	35,000	40,500	83,500	35,000	45,500	44,500	83,500
	32/16	27,000	35,000	40,500	83,500	35,000	45,500	44,500	83,500
	40/20	28,500	37,000	43,000	88,500	37,000	48,000	47,500	88,500
	48/24	31,000	40,500	46,500	96,000	40,500	52,500	51,000	96,000
Piso Simple	16 o.c	27,000	35,000	40,500	83,500	35,000	45,500	44,500	83,500
	20 o.c	28,000	36,500	42,000	87,000	36,500	47,500	46,000	87,000
	24 o.c	30,000	39,000	45,000	93,000	39,000	50,500	49,500	93,000
	32 o.c	36,000	47,000	54,000	110,000	47,000	61,000	59,500	110,000
	48 o.c	50,500	65,500	76,000	155,000	65,500	85,000	83,500	155,000

Tabla 11: Valores de G_t (Tabla 2305.2.2 (2) CIE. 2006)

$$47500 \frac{\text{Lb}}{\text{Pulg}} * \frac{453,6 \text{ gr}}{1 \text{ Lb}} * \frac{1 \text{ Kg}}{1000 \text{ gr}} * \frac{1 \text{ Pulg.}}{2,54 \text{ cm}} * \frac{100 \text{ cm}}{1 \text{ m}}$$

$$\rightarrow G_t = 848267,72 \text{ (Kg/m)} = 8482,67 \text{ (Kg/cm)}$$

$$v = 492 \frac{\text{Lb}}{\text{Ft}} * \frac{453,6 \text{ gr}}{1 \text{ Lb}} * \frac{1 \text{ Kg}}{1000 \text{ gr}} * \frac{1 \text{ Ft}}{30,48 \text{ cm}} = 7,32 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}}$$

En el último miembro de la Ecuación 23-1, como es el mas crítico, debe observarse la constitución de los paneles con sumo cuidado , entonces :

* $\Delta_x = 3,9 \text{ cm}$ (mínima penetración del clavo en el entramado, de acuerdo a 4.2)

* Número de empalmes que se mueven en dirección “X” : 6

* Distancia de empalme al miembro del entramado mas próximo : 50 cm.

$$\rightarrow \sum \Delta_x = 6 * 50 \text{ (cm)} * 3,9 \text{ (cm)} = 1170 \text{ (cm}^2\text{)}$$

→ reemplazando valores en la Ecuación 23-1 :



Universidad de Cuenca

$$\Delta x = \frac{0,052 \cdot 7,32 \text{ (Kg/cm)} \cdot (380 \text{ cm})}{130000 \text{ (Kg/cm}^2) \cdot 135 \text{ (cm}^2) \cdot 370 \text{ (cm)}} + \frac{7,32 \text{ (Kg/cm)} \cdot 380 \text{ (cm)}}{4 \cdot 8482,67 \text{ (Kg/cm)}} +$$

$$+ \frac{380 \text{ (cm)} \cdot 0,056 \text{ (cm)}}{162,7 \text{ (cm)}} + \frac{1170 \text{ (cm}^2)}{740 \text{ (cm)}} = 1,667 \text{ (cm)} < 2 \text{ (cm)} \text{ (cumple)}$$

Sentido “Y” :

$$\frac{Y}{\Delta Y} = \frac{370 \text{ (cm)}}{6,4 \text{ (cm)}} = 58 \text{ espacios} \rightarrow 59 \text{ anclajes (en los contornos)}$$

$$\frac{60 \text{ (cm)}}{10,2 \text{ (cm)}} = 6 \text{ espacios} \rightarrow 7 \text{ anclajes (discontinuos superiores)}$$

$$\frac{120 \text{ (cm)}}{10,2 \text{ (cm)}} = 12 \text{ espacios} \rightarrow 13 \text{ anclajes (discontinuos intermedios sup. Inf.)}$$

$$\frac{70 \text{ (cm)}}{10,2 \text{ (cm)}} = 7 \text{ espacios} \rightarrow 8 \text{ anclajes (discontinuos inferiores)}$$

$$\frac{59 \text{ anc.}}{12,14 \text{ Ft}} = \frac{4 \text{ anc.}}{\text{Ft}} ; \frac{7 \text{ anc.}}{1,97 \text{ Ft}} = \frac{3 \text{ anc.}}{\text{Ft}} ; \frac{13 \text{ anc.}}{3,94 \text{ Ft}} = \frac{3 \text{ anc.}}{\text{Ft}} ; \frac{8 \text{ anc.}}{2,30 \text{ Ft}} = \frac{3 \text{ anc.}}{\text{Ft}}$$

$$\rightarrow \text{N.- de anclajes} = \frac{4 + 3 + 3 + 3 + 3}{5} = \frac{3 \text{ anclajes}}{\text{Ft}} \rightarrow \frac{492 \text{ Lb/Ft}}{3 \text{ anc./Ft}} = \frac{164 \text{ Lb}}{\text{anc.}}$$

→ Para 140 (Lb/anc), $e_n = 0,03 \text{ pulg. (clavos 8d)}$

Para 120 (Lb/anc) , $e_n = 0,02 \text{ pulg. (clavos 8d)}$

→ interpolando : , $e_n = 0,01 \text{ pulg} = 0,0254 \text{ (cm)}$

→ $140 - 120 = 20 \text{ (Lb/anc)}$, $164 - 120 = 44 \text{ (Lb/anc)}$

→ $e_n = 0,02 + \frac{44}{20} (0,01) = 0,042 \text{ pulg.} = 0,107 \text{ (cm)}$

$G_t = 848267,72 \text{ (Kg/m)} = 8482,67 \text{ (Kg/cm)}$



* $\Delta_Y = 3,9 \text{ cm}$ (mínima penetración del clavo en el entramado, por tabla 4.2)

* Número de empalmes que se mueven en dirección “Y” : 3

* Distancia de empalme al miembro del entramado mas próximo : 50 cm.

$$\rightarrow \sum \Delta x = 3 \cdot 50 \text{ (cm)} \cdot 3,9 \text{ (cm)} = 585 \text{ (cm}^2\text{)}$$

→ reemplazando valores en la Ecuación 23-1 :

$$\Delta_Y = \frac{0,052 \cdot 7,32 \text{ (Kg/cm)} \cdot (380 \text{ cm})^3}{130000 \text{ (Kg/cm}^2\text{)} \cdot 135 \text{ (cm}^2\text{)} \cdot 370 \text{ (cm)}} + \frac{7,32 \text{ (Kg/cm)} \cdot 380 \text{ (cm)}}{4 \cdot 8482,67 \text{ (Kg/cm)}}$$

$$\frac{380 \text{ (cm)} \cdot 0,107 \text{ (cm)}}{162,7 \text{ (cm)}} + \frac{585 \text{ (cm}^2\text{)}}{740 \text{ (cm)}} = 0,876 \text{ (cm)} < 2 \text{ (cm)} \text{ (cumple)}$$

Por lo tanto el panel se comportará como elemento rígido.

Para todos los paneles, se tabulan los resultados obtenidos mediante programa elaborado en hoja electrónica EXCEL:

NIVEL (m)	PANEL	DEFLEXIÓN “X” (cm.)	DEFLEXIÓN “Y” (cm.)	CUMPLE
N + 2,7	1	1,6238	0,833	SI
	2	1,066	1,2462	SI
	3	0,739	0,8338	SI
	4	1,183	0,9364	SI
	5	0,4568	0,8856	SI
	1	1,667	0,8759	SI



Universidad de Cuenca

N + 5,4	2	1,6713	0.8809	SI
	3	0,7822	0,8772	SI
	4	1,4808	0,9384	SI
	5	0,7463	0,969	SI

Tabla 12: Resultados de la deflexión de los paneles y comprobación de su rigidez.



Modelo de Hoja Electrónica: Aplicación en el Panel N.- 01 (N+5,4)

DETERMINACIÓN DE LA RIGIDEZ DEL PANEL DE DIAFRAGMA	
SENTIDO "X" : TODOS LOS PANELES	
E : MÓDULO ELÁSTICO DEL MIEMBRO DEL ENTRAMADO (Kg/cm ²) (↓)	130000
A : AREA DE LA VIGA DEL ENTRAMADO (cm ²) (↓)	135
L . (LONGITUD DEL PANEL) (m.) (↓)	3,8
b. (ANCHO DEL PANEL) (m) (↓)	3,7
Δx. (ESPACIO ENTRE CLAVOS) (cm) (↓)	6,4
V.máx.(Lb/Ft) (↓)	600
NÚMERO DE ANCLAJES	61
NÚMERO DE ANCLAJES UNITARIOS (CLAVOS/PIE)	4
CARGA POR ANCLAJE (Lb/anclaje)	123
CARGA POR ANCLAJE ,VALOR SUPERIOR (TABLA 2305.2.2(1)) (Lb/anclaje) (↓)	140
CARGA POR ANCLAJE ,VALOR INFERIOR (TABLA 2305.2.2(1)) (Lb/anclaje) (↓)	120
e _n (DEFORMACIÓN DEL CLAVO),VALOR SUPERIOR (TABLA 2305.2.2(1)) (Pulgadas) (↓)	0,03
e _n (DEFORMACIÓN DEL CLAVO),VALOR INFERIOR (TABLA 2305.2.2(1)) (Pulgadas) (↓)	0,02
e _n (DEFORMACIÓN DEL CLAVO REAL) (cm)	0,055
G _t : RIGIDEZ DEL PANEL A TRAVÉS DEL ESPESOR,(TABLA 2305.2.2(2) (Lb/pulg.) (↓)	47500
G _t : RIGIDEZ DEL PANEL A TRAVÉS DEL ESPESOR,(TABLA 2305.2.2(2) (Kg/cm.)	8482,68
MINIMA PENETRACIÓN DEL CLAVO EN EL ENTRAMADO (cm.)	3,9
NÚMERO DE EMPALMES (↓)	6
DISTANCIA DE EMPALME AL MIEMBRO DEL ENTRAMADO MAS PRÓXIMO (cm.) (↓)	50
SUMA DE LOS VALORES DE EMPALME DE CORDÓN (ΣΔ) (cm ² .)	1170
V' : Corte máximo debido a las cargas de diseño en la dirección considerada (Kg/cm)	7,32
DEFLEXIÓN DEL PANEL (cm.)	1,6664
CLASIFICACIÓN DEL PANEL	PANEL RÍGIDO



Universidad de Cuenca

SENTIDO "Y" : PANELES "1", "2" y "3"	
E : MÓDULO ELÁSTICO DEL MIEMBRO DEL ENTRAMADO (Kg/cm ²) (↓)	130000
A : AREA DE LA VIGA DEL ENTRAMADO (cm ²) (↓)	135
L . (LONGITUD DEL PANEL) (m.) (↓)	3,8
b. (ANCHO DEL PANEL) (m) (↓)	3,7
Δy. (ESPACIO ENTRE CLAVOS EN LOS CONTORNOS) (cm) (↓)	6,4
V.máx.(Lb/Ft) (↓)	600
NÚMERO DE ANCLAJES EN LOS CONTORNOS	59
NÚMERO DE ANCLAJES UNITARIOS EN LOS CONTORNOS (CLAVOS/PIE)	4
Δh1 : LONGITUD DE LA JUNTA DISCONTINUA SUPERIOR (cm.) (↓)	60
Δy1. (ESPACIO ENTRE CLAVOS EN JUNTA DISCONTINUA SUPERIOR) (cm) (↓)	10,2
NÚMERO DE ANCLAJES EN JUNTA DISCONTINUA SUPERIOR	7
NÚMERO DE ANCLAJES UNITARIOS EN JUNTA DISCONTINUA SUPERIOR (CLAVOS/PIE)	3
Δh2 : LONGITUD DE LA JUNTA DISCONTINUA INTERMEDIA SUPERIOR (cm.) (↓)	120
Δy2. (ESPACIO ENTRE CLAVOS EN JUNTA DISCONTINUA INTERMEDIA SUPERIOR) (cm) (↓)	10,2
NÚMERO DE ANCLAJES EN JUNTA DISCONTINUA INTERMEDIA SUPERIOR	13
NÚMERO DE ANCLAJES UNITARIOS EN JTA. DISC. INT. SUPERIOR (CLAVOS/PIE)	3
Δh3 : LONGITUD DE LA JUNTA DISCONTINUA INTERMEDIA INFERIOR (cm.) (↓)	120
Δy3. (ESPACIO ENTRE CLAVOS EN JUNTA DISCONTINUA INTERMEDIA INFERIOR) (cm) (↓)	10,2
NÚMERO DE ANCLAJES EN JUNTA DISCONTINUA INTERMEDIA INFERIOR	13
NÚMERO DE ANCLAJES UNITARIOS EN JTA. DISC. INT. INF. (CLAVOS/PIE)	3
Δh4 : LONGITUD DE LA JUNTA DISCONTINUA INFERIOR (cm.) (↓)	70
Δy3. (ESPACIO ENTRE CLAVOS EN JUNTA DISCONTINUA INFERIOR) (cm) (↓)	10,2
NÚMERO DE ANCLAJES EN JUNTA DISCONTINUA INFERIOR	8
NÚMERO DE ANCLAJES UNITARIOS EN JUNTA DISCONTINUA INFERIOR (CLAVOS/PIE)	3
NÚMERO DE ANCLAJES UNITARIOS PROMEDIO (CLAVOS/PIE)	3
CARGA POR ANCLAJE (Lb/anclaje)	164
CARGA POR ANCLAJE ,VALOR SUPERIOR (TABLA 2305.2.2(1)) (Lb/anclaje) (↓)	140
CARGA POR ANCLAJE ,VALOR INFERIOR (TABLA 2305.2.2(1)) (Lb/anclaje) (↓)	120
e _n (DEFORMACIÓN DEL CLAVO),VALOR SUPERIOR (TABLA 2305.2.2(1)) (Pulgadas) (↓)	0,03
e _n (DEFORMACIÓN DEL CLAVO),VALOR INFERIOR (TABLA 2305.2.2(1)) (Pulgadas) (↓)	0,02
e _n (DEFORMACIÓN DEL CLAVO REAL) (cm)	0,107
G _t : RIGIDEZ DEL PANEL A TRAVÉS DEL ESPESOR,(TABLA 2305.2.2(2) (Lb/pulg.) (↓)	47500
G _t : RIGIDEZ DEL PANEL A TRAVÉS DEL ESPESOR,(TABLA 2305.2.2(2) (Kg/cm.)	8482,68
MINIMA PENETRACIÓN DEL CLAVO EN EL ENTRAMADO (cm.)	3,9
NÚMERO DE EMPALMES (↓)	3
DISTANCIA DE EMPALME AL MIEMBRO DEL ENTRAMADO MAS PRÓXIMO (↓) (cm.)	50
SUMA DE LOS VALORES DE EMPALME DE CORDÓN (ΣΔ) (cm ²)	585
V' : Corte máximo debido a las cargas de diseño en la dirección considerada (Kg/cm)	7,32
DEFLEXIÓN DEL PANEL (cm.)	0,8759
CLASIFICACIÓN DEL PANEL	PANEL RÍGIDO



Universidad de Cuenca

V' : Corte máximo debido a las cargas de diseño en la dirección considerada (Kg/cm)	7,32
DEFLEXIÓN DEL PANEL (cm.)	0,8759
CLASIFICACIÓN DEL PANEL	PANEL RÍGIDO

Tabla 13: Diseño en la hoja de cálculo.



CAPITULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Una vez realizado el cálculo de los diafragmas y determinado su grado de rigidez, se puede llegar a las siguientes conclusiones y recomendaciones:

5.1.- Se procedió a realizar el diseño de los diafragmas mediante el método y normas propuestos por el Código Internacional de la Edificación 2006, y empleando las tablas correspondientes. Una vez que se obtuvieron los resultados, estos han sido satisfactorios, por lo que se pudo continuar con el proceso de diseño.

5.2.- En los diafragmas de madera, el análisis es posterior al diseño : Una vez que se obtiene la configuración de los paneles de diafragmas , se debe aplicar la ecuación 23-1 del CIE 2006 que calcula la deflexión de estos debido a la acción de la carga sub - cortante basal que está actuando en el panel correspondiente. La deflexión tiene que ser menor o igual a la máxima deriva permitida por el NEC 11: 2cm para estructuras de acero, hormigón y madera (nuestro caso). Si la deflexión está dentro de este límite, entonces se le puede considerar en el análisis como un diafragma rígido. En base a esto, todos los resultados obtenidos con ayuda de la hoja electrónica EXCEL dieron menores al límite, por lo tanto cumplen con el requisito de rigidez.

5.3.- La rigidez y buen funcionamiento de un diafragma de madera depende de: El número de clavos, la distancia de clavado, la penetración de los clavos en el entramado. Este último aspecto es de suma importancia: cuanto más cercanos estén los miembros que conforman los entramados, mayor será la rigidez de los paneles de diafragmas. Expresado de otro modo: la rigidez es inversamente proporcional a la distancia entre miembros de entramado, a menor distancia de vigas a los empalmes, mayor será la rigidez.



5.4.- En el Manual de Diseño para maderas del Grupo Andino, no se indican procedimientos de diseño de diafragmas; debido a ello, es necesario recurrir a otros códigos de diseño (el Código Internacional de la Edificación 2006 en este caso), que están elaborados en base a tipos de madera distintos a los del Grupo Andino, por lo que fue necesario buscar especies que tengan densidad relativa semejante a las del Grupo Andino, y en base a las normas de uso de la tabla 2306.3.1 CIE2006 para distinto tipo de maderas, proceder a su aplicación.

5.5.- Muchas veces se cree erróneamente que “diafragma” y “muro de corte” significan lo mismo, pero no es así: Los diafragmas son elementos encargados de receptor y distribuir la carga sub – cortante basal a cada uno de los diferentes pórticos que conforman la estructura. Los muros de corte cumplen la función de soportar las derivaciones de la carga sub - cortante basal que les proporciona el diafragma, por lo que se puede concluir que dé el óptimo funcionamiento del diafragma se puede obtener una mejor repartición de la fuerza sub – cortante.

5.6.- La rigidez de un diafragma está en función de:

La sección de las vigas del entramado, debiéndoselas dar una sección adecuada tanto en ancho como en el peralte; del tipo de madera empleado, se debe en lo posible diseñar con madera estructural del Grupo A; de la disposición de los clavos, a medida de como estén distribuidos aumentará la rigidez del diafragma.

5.7.- Una vez conocido el procedimiento de análisis y diseño, es aconsejable elaborar un programa de hoja electrónica que simplificará significativamente los procesos de trabajo, optimizando tiempo, energía y reduciendo al máximo los márgenes de error.

5.8.- El alcance de este trabajo comprende diseño y análisis de diafragmas de madera sin incluir a los demás elementos estructurales, salvo los entramados.



Para lograr un buen desempeño de los diafragmas, es necesario un adecuado diseño de la estructura , pues la deriva (desplazamiento horizontal) que experimenten sus distintos niveles dependerá en forma directa del comportamiento de sus miembros, el mismo que estará fundamentalmente relacionado a sus respectivas dimensiones.

5.9.- En el diseño de estructuras debe emplearse madera Tipo “A” , debido a que esta presenta un grado de resistencia superior a las otras dos especies. Entre las maderas pertenecientes a este grupo se tiene las siguientes:

<i>Nombre Científico</i>	<i>Nombre Común</i>	<i>Densidad relativa</i>
<i>Minquartia Guianensis</i>	<i>Guayacán Pechiche</i>	<i>0,76</i>
<i>Chrysophyllum Cainito</i>	<i>Caimitillo</i>	<i>0,74</i>
<i>Chlorophora tinctoria</i>	<i>Moral Fino</i>	<i>0,71</i>

Fuente : *Manual de diseño de Maderas del Grupo Andino (1984)*

En el diseño de los elementos de carácter ornamental puede optarse por los otros dos tipos de maderas.

5.10.- Antes de la construcción de una estructura de madera, es necesario proporcionar a esta de un adecuado tratamiento en base de sustancias preservantes cuya acción inmunizará a la madera del ataque de insectos y otros micro-organismos evitando así la vulneración de la estructura y los demás elementos.

5.11.- En el proceso constructivo de los diafragmas se debe de procurar poner la máxima atención en el proceso de clavado , cuidando que los errores en la distancia entre anclajes sean lo mas mínimos posible , casi inexistentes, pues



como bien se sabe, el buen funcionamiento de un diafragma radica en el número, tipo y disposición de los clavos.

5.12.- Uno de los objetivos en el secado de la madera es el de proporcionarle a esta un contenido de humedad lo mas aproximado posible al que irá a adquirir una vez que entre en servicio. A mas de este objetivo primordial, el secado proporciona mayor resistencia mecánica, menor peso propio y una respuesta favorable a la acción de sustancias preservantes entre otras ventajas.

Es necesario cuidar este proceso, pues tiende a afectar sus propiedades creando defectos en la madera que pueden devaluar su uso.

5.13.- Hay que poner especial atención a algunos defectos principales que presenta la madera : Formación de nudos, fallas de compresión, inclinación del grano o fibra, médula excéntrica.

Los nudos son fallas de discontinuidad producidas en la sección leñosa debido al nacimiento y desarrollo de las ramas. La aparición de estos, afecta a la zona de tracción y produce inclinación del grano creándose en consecuencia zonas débiles a su alrededor.

Las fallas de compresión son la formación de regiones interrumpidas que afectan la transmisión de esfuerzos como resultado de la aplicación de carga en un determinado miembro de madera.

En la construcción de diafragmas y elementos estructurales, deben en lo posible evitarse maderas que presenten estos defectos.

5.14.- En el predimensionamiento de los diafragmas se debe tener en claro que no va a obtenerse una configuración definitiva al primer intento. Además de cumplir con la disposición 2305.2.4 del C.I.E 2006, su geometría debe ser adaptable para cada uno de los seis casos con los que se trabaja en la tabla 2306 del C.I.E 2006 , siendo aconsejable reducir al máximo posible el número de estos mas que nada con la finalidad de simplificar el proceso de diseño.



Universidad de Cuenca

5.15.- Los clavos deben tener una completa penetración en el panel y vigas de entramado. Sus cabezas no se deben doblar , y no hay que permitir el empleo de clavos usados ,desgastados y mucho menos oxidados. Si sufren algún deterioro serio durante el proceso de unión, se los debe reemplazar de inmediato y desecharlos. En obra se deben tomar las debidas precauciones para evitar accidentes lamentables.

5.16.- En lo referente al empleo del material, este debe ser debidamente transportado y embodegado, teniendo cuidado de que no se humedezca debido a la lluvia, filtraciones o fugas de agua. Una vez en obra, se debe planificar su uso adecuado para evitar desperdicio con su consecuente escasés trayendo como resultado la descoordinación y el retraso de la misma. El equipo de construcción deberá estar conformado por personal debidamente calificado para obtener una obra de óptima calidad.



CAPITULO 6: BIBLIOGRAFÍA

Para la realización del presente trabajo, se ha recurrido a las siguientes obras:

6.1.- Junta del acuerdo de Cartagena (1984). *“Manual de diseño para maderas del Grupo Andino”*. Lima, Perú.

6.2.- Villareal, Genner (2009). *“Análisis Estructural”*. Lima, Perú.

6.3.- Soler de la Cruz, José y Ángel Pino (2002). *“Rigidez y Flexibilidad en el análisis de diafragmas flexibles”*. Convención Panamericana de Ingeniería UPADI 2012. La Habana: Obras.

6.4.- Herrero, Miguel (2003). *“Determinación de la capacidad resistente de la madera estructural”*. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España.

6.5.- Arriaga, Francisco, Miguel Herrero, Guillermo Iñiguez (2007) *“Construcción con madera”*. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España.

6.6.- Cabrero, José (2009). *“Apuntes sobre el diseño de estructuras de madera”*. Escuela técnica superior de arquitectura de Navarra, Madrid, España.

6.7.- Aguilar, Jaime (2012). *“Propiedades físico-mecánicas de uniones clavadas y empernadas, sometidas a compresión, con madera tipo A, tipo B y tipo C; para el diseño estructural de la cubierta del proyecto casa Montufar 623”*. Escuela Politécnica del Ejército. Quito, Ecuador.

6.8 .- Bravo, Hugo, Guillermo Gómez, Fabián Melo, Fernando Rojas, Jorge Orbe y Edgar Vásquez (2010). *“CÓDIGO ECUATORIANO PARA LA CONSTRUCCIÓN -SECCIÓN MADERAS”*. MIDUVI, Quito, Ecuador.

6.9.- Frau, Carlos, G. Torrisi, y Daniel Quiroga (2008). *“Diafragmas Flexibles”*. Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza, Argentina.



Universidad de Cuenca

- 6.10** Messer, Osvaldo (2007). *“Comportamiento en flexión de vigas laminadas que incorporan pino de Oregón”*. Universidad de Concepción, Chile.
- 6.11.-** Pardo, José (1997). *“Estructuras mixtas de hormigón – madera aplicadas a la rehabilitación de forjados”*. Universidad de Valencia, Valencia – España.
- 6.12. -** UBC, I. C. (1997). *“Uniform Building Code Vol 2: Structural Engineering Design Provisions. California: International Conference of Building Officials”*.
- 6.13.-** NEC, C. M.-C. (2011). *“Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC”*. Quito, Ecuador.
- 6.14.-** Mc.Cormac, J. C. (2011). *“Análisis de Estructuras”*. New Jersey: Alfa omega.
- 6.15.-** Cabrera, Pedro (2013). *“Estudio de la rigidez de los diafragmas de entrepiso”*. Universidad de Cuenca. Cuenca, Ecuador.
- 6.16.-** Pino, Ángel (2012). *“Método de los desplazamientos”*. Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador.
- 6.17.-** Merrit Frederick, Ricketts Jonathan (1997). *“Manual Integral para Diseño y Construcción, quinta edición, Tomo 2”*. Mc Graw Hill.
- 6.18.-** Pino, Ángel (2012). *“Método de los desplazamientos en su enfoque matricial”*. Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador
- 6.19.-** Iñiguez, Guillermo (2009). *“Estructuras de Madera”*. Madrid, España
- 6.20.-** C.I.E 2006 (Código Internacional de la Edificación 2006). Capítulo 23: Maderas.